

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 143 078

21 N° d'enregistrement national : 23 14000

51 Int Cl⁸ : F 16 H 1/48 (2024.01), F 16 H 35/10, B 62 M 6/55

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 12.12.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 14.06.24 Bulletin 24/24.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : Ce dernier n'a pas été
établi à la date de publication de la demande.

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés : Division demandée le 12/12/23 béné-
ficiant de la date de dépôt du 14/10/21 de la
demande initiale n° 2110906.

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : MAVIC GROUP SASU — FR.

72 Inventeur(s) : MERCAT Jean-Pierre.

73 Titulaire(s) : MAVIC GROUP SASU.

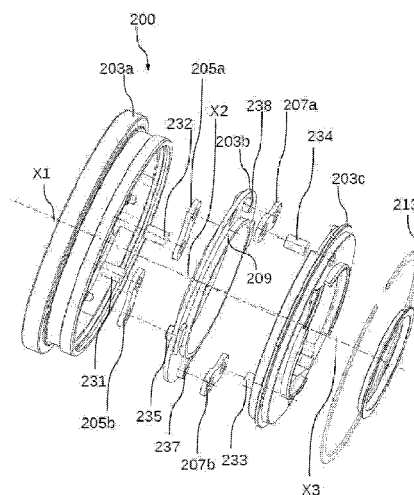
74 Mandataire(s) : INNOVINCIA.

54 Dispositif de transmission de couple, dispositif d'assistance électrique et cycle associé.

57 Dispositif de transmission de couple, dispositif d'assis-
tance électrique et cycle associé

La présente invention concerne un dispositif de trans-
mission de couple (200) comprenant :- une rondelle d'en-
trée (203a),- une rondelle de sortie (203c),- une rondelle
intermédiaire (203b) disposée entre la rondelle d'entrée
(203a) et la rondelle de sortie (203c),- une première paire de
maillons (205a, 205b) couplés d'un premier côté à la ron-
delle d'entrée (203a) et d'un deuxième côté, opposé au pre-
mier côté, à la rondelle intermédiaire (203b), les maillons
(205a, 205b) de la première paire étant disposés de ma-
nière diamétralement opposée par rapport à l'axe central in-
termédiaire (X2), - une deuxième paire de maillons (207a,
207b) couplés d'un premier côté à la rondelle intermédiaire
(203b) et d'un deuxième côté, opposé au premier côté, à la
rondelle de sortie (203c), les maillons (207a, 207b) de la
deuxième paire étant disposés de manière diamétralement
opposée par rapport à l'axe central intermédiaire (X2) de la
rondelle intermédiaire (203b), les deux paires de maillons
(205a, 205b et 207a, 207b) étant alignées suivant deux di-
rections respectives (d1, d2) perpendiculaires entre elles.

Figure 1



Description

Titre de l'invention : Dispositif de transmission de couple, dispositif d'assistance électrique et cycle associé

- [0001] La présente invention concerne un dispositif de transmission de couple, notamment pour motoréducteur, un dispositif d'assistance électrique et un cycle comprenant ledit dispositif de transmission de couple.
- [0002] Les vélos à assistance électrique sont en plein essor car ils attirent divers publics, aussi bien les citoyens voulant remplacer leur voiture par un véhicule plus pratique et plus écologique que les sportifs désireux d'avoir une assistance pour réduire l'effort nécessaire lors du pédalage, notamment en cas de montées à forts pourcentages.
- [0003] Différentes technologies ont été développées pour répondre aux besoins de ces différents utilisateurs.
- [0004] Dans le cas des vélos à assistance électrique à vocation sportive, il est important pour les utilisateurs que le poids du vélo soit maîtrisé et que les pertes de transmission soient limitées car les sportifs veulent utiliser, le plus souvent possible, leur vélo sans faire appel à l'assistance électrique et conserver alors les sensations d'un vélo traditionnel. Il est également important d'obtenir un vélo ayant une apparence la plus proche possible d'un vélo traditionnel.
- [0005] Une des technologies permettant de bien s'adapter au pédalage du cycliste est de positionner le moteur électrique autour de l'axe de pédalier dans le boîtier de pédalier supportant l'axe de pédalier, Ainsi la motorisation va pouvoir bénéficier du rapport de transmission qui est le ratio entre la vitesse de rotation de la roue arrière et sa cadence de pédalage, ce rapport de transmission étant choisi par le cycliste afin d'optimiser sa cadence de pédalage en toutes circonstances, ce qui aura donc également pour effet d'adapter le régime du moteur afin qu'il travaille toujours dans de bonnes conditions de rendement et de pouvoir ainsi délivrer un très gros couple d'assistance à la roue arrière (à une plus faible vitesse) lors du franchissement de montées très pentues.
- [0006] Les utilisateurs de ces vélos à assistance électrique souhaitent également une motorisation très silencieuse afin de pouvoir profiter pleinement de la pratique du vélo en toute quiétude.
- [0007] L'écartement entre les pédales droite et gauche est un élément très important pour les cyclistes notamment sportifs. Cet écartement entre les deux plans d'appui des pédales est communément appelé « Q factor » et il a une valeur de 146 mm pour un vélo de route et jusqu'à 158 mm pour un vélo tout terrain (VTT) alors que les blocs moteurs à assistance électrique écartent notablement ce « Q factor » de 163 mm à 220 mm de large. En effet, le bloc-moteur doit intégrer de nombreux éléments comme un capteur

de couple, un moteur, un réducteur ainsi qu'au moins une roue-libre. L'assemblage de tous ces composants prend beaucoup de place et conduit à l'élargissement du « Q factor ». Cet élargissement est immédiatement sensible par un cycliste aguerri, en effet lors du mouvement de pédalage les jambes du cycliste ne formant pas un système mécanique dynamiquement équilibré, les membres subissent des accélérations alternatives générant des efforts dynamiques importants croissant avec le carré de la cadence de pédalage. Le déséquilibre de ce système augmente aussi avec l'écartement des pédales, ainsi son augmentation réduit inévitablement la cadence de pédalage du cycliste et donc sa puissance mécanique développée. De plus l'écartement des pédales pose des problèmes de sécurité lorsque le cycliste souhaite continuer à pédaler en virage, en effet l'inclinaison du vélo en courbe rapproche la pédale située à l'intérieur du virage du sol, qui risque alors de frotter au sol et faire chuter le cycliste.

L'écartement du « Q factor » rend ainsi le pédalage en courbe beaucoup plus dangereux. Il est donc important de concevoir une motorisation très étroite axialement, respectant le « Q factor » des vélos performants non assistés.

[0008] Afin d'utiliser un moteur électrique de petite taille, notamment de petit diamètre, et léger, il est préférable de limiter son couple. Un faible couple du moteur électrique entraîne une vitesse de rotation élevée de l'arbre de sortie pour obtenir la puissance voulue. Il convient alors de coupler un réducteur au moteur électrique pour obtenir une vitesse de rotation adaptée à la fréquence de pédalage de l'utilisateur. De plus, une roue libre est nécessaire afin de désaccoupler le moteur lorsque le cycliste n'a plus recours à l'assistance du moteur, par exemple lorsque sa vitesse dépasse la vitesse maximum légale d'assistance ou lorsqu'il ne souhaite plus être assisté. Cette roue libre est également nécessaire afin d'éviter d'endommager le moteur électrique notamment lorsque l'utilisateur exerce un rétropédalage. Ces différents éléments peuvent être montés de manière coaxiale à l'axe de pédalage et former une chaîne de transmission configurée pour transmettre le couple fourni par le moteur électrique à l'axe de pédalier.

[0009] La réalisation du réducteur ainsi que les éléments de la chaîne de transmission de puissance, nécessitent des tolérances de fabrication et notamment des tolérances de coaxialité pouvant combiner leurs effets de manière périodique. La réalisation de toutes ces pièces demande la plus grande attention pour obtenir un assemblage d'une grande précision mais la réduction des intervalles de tolérances augmente très rapidement le coût de fabrication.

[0010] Par ailleurs, lorsque l'utilisateur applique une force importante sur les pédales, cela tend à déformer l'axe de pédalier.

[0011] Ces tolérances de fabrication ainsi que cette déformation tendent à fausser la coaxialité entre l'axe de pédalier et les éléments de la chaîne de transmission, ce qui crée

des contraintes et augmente les frottements notamment au niveau des roulements disposés entre les éléments de la chaîne de transmission et l'axe de pédalier. Ces frottements créent une perte de rendement qui peut être désagréable pour l'utilisateur, notamment lorsqu'il utilise son vélo sans assistance électrique, le cycliste devant fournir un effort supplémentaire pour lutter contre ces frottements. Ces frottements génèrent également une usure ainsi que des vibrations et bruits périodiques désagréables pour le cycliste qui souhaite pratiquer dans la plus grande quiétude.

- [0012] Afin de surmonter ce problème d'absence de coaxialité entre deux ensembles mécaniques, il est connu d'utiliser un joint d'Oldham. Les accouplements de type joint d'Oldham sont des accouplements homocinétiques, ils sont composés d'une première glissière entre une rondelle d'entrée et une rondelle intermédiaire et une deuxième glissière perpendiculaire à la première liant la rondelle intermédiaire à la rondelle de sortie. Ces deux glissières sont de préférence chacune réalisées par une réglette radiale glissant dans une rainure radiale, le problème rencontré par ce type d'accouplement est que ces glissières engendrent beaucoup de frottements alternés à l'origine de gros efforts radiaux parasites, en effet à chaque révolution chacune des glissières va faire un aller et un retour ce qui va provoquer deux inversions de sens de la composante radiale de frottement et les deux glissières étant déphasées d'un quart de tour, les frottements vont donc successivement changer d'orientation quatre fois par tour générant une excitation radiale importante des arbres d'entrée et de sortie à l'origine d'un bruit important. Ce problème de frottement pourrait être résolu en intercalant des éléments roulants dans les glissières mais cette solution est très onéreuse et très encombrante axialement et n'est donc pas applicable dans un motoréducteur compact.
- [0013] Il convient donc de fournir une solution économique, permettant d'obtenir une assistance électrique ayant un poids et un encombrement limités pour pouvoir être disposée au niveau du boîtier de pédalier et qui permet de limiter les frottements et les bruits liés à la déformation de l'axe de pédalier sous l'effet du pédalage de l'utilisateur.
- [0014] Également, ces mêmes problèmes peuvent se rencontrer pour d'autres appareils utilisant des dispositifs d'assistance électrique comme par exemple des dispositifs d'assistance électrique d'exosquelettes, de matériel électroportatif ou pour des bras de robotisation où le bruit de fonctionnement et la compacité sont des critères importants.
- [0015] A cet effet, l'invention a pour objet un dispositif de transmission de couple, notamment pour motoréducteur, comprenant :
- une rondelle d'entrée s'étendant dans un plan perpendiculaire à un axe central d'entrée,
 - une rondelle de sortie s'étendant dans un plan perpendiculaire à un axe central de sortie,
 - une rondelle intermédiaire disposée entre la rondelle d'entrée et la rondelle de sortie

et s'étendant dans un plan perpendiculaire à un axe central intermédiaire,

- une première paire de maillons couplés d'un premier côté à la rondelle d'entrée et d'un deuxième côté, opposé au premier côté, à la rondelle intermédiaire, les maillons de la première paire étant disposés de manière diamétralement opposée par rapport à un axe central intermédiaire,

- une deuxième paire de maillons couplés d'un premier côté à la rondelle intermédiaire et d'un deuxième côté, opposé au premier côté, à la rondelle de sortie, les maillons de la deuxième paire étant disposés de manière diamétralement opposée par rapport à l'axe central intermédiaire,

les deux paires de maillons étant alignées suivant deux directions respectives perpendiculaires entre elles de manière à permettre une transmission de couple même en l'absence de coaxialité entre l'axe central d'entrée et l'axe central de sortie.

[0016] L'utilisation de deux paires de maillons alignées suivant deux directions respectives perpendiculaires entre elles reliant des rondelles montées rotatives autour d'un axe central permet d'obtenir une transmission de couple entre deux axes qui peuvent être non coaxiaux, à la manière d'un joint d'Oldham, tout en ayant un encombrement réduit et notamment une largeur axiale réduite.

[0017] Il est à noter que les maillons de la première ou de la deuxième paire peuvent ne pas être strictement diamétralement opposé mais peuvent s'écarter de 10° par rapport à une direction diamétralement opposée.

[0018] Il est également à noter que les deux paires de maillons peuvent être alignées suivant deux directions non strictement perpendiculaires mais formant un angle compris entre 80° et 100° .

[0019] Selon un autre aspect de la présente invention, la rondelle d'entrée comprend deux axes de transmission s'étendant parallèlement à l'axe central d'entrée et reçus dans deux premiers trous respectifs, associés à une première extrémité des maillons respectifs de la première paire, la rondelle intermédiaire comprenant deux premiers axes de transmission s'étendant parallèlement à son axe central, disposés sur une première face de la rondelle intermédiaire et reçus dans deux deuxièmes trous respectifs, associés à une deuxième extrémité des maillons respectifs de la première paire, et deux deuxièmes axes de transmission s'étendant parallèlement à son axe central, disposés sur une deuxième face de la rondelle intermédiaire et reçus dans deux premiers trous respectifs associés au premier côté des maillons respectifs de la deuxième paire, la rondelle de sortie comprenant deux axes de transmission s'étendant parallèlement à l'axe central de sortie et reçus dans deux deuxièmes trous respectifs associés au deuxième côté des maillons respectifs de la deuxième paire.

[0020] Selon un autre aspect de la présente invention, les maillons de la première paire sont montés rotatifs d'une part avec les axes de transmission de la rondelle d'entrée et

d'autre part avec les premiers axes de transmission de la rondelle intermédiaire et les maillons de la deuxième paire sont montés rotatifs d'une part avec les deuxièmes axes de transmission de la rondelle intermédiaire et d'autre part avec les axes de transmission de la rondelle de sortie.

- [0021] Selon un autre aspect de la présente invention, les premiers et deuxièmes axes de transmission de la rondelle intermédiaire sont disposés de sorte que les maillons de la première et de la deuxième paires travaillent en traction dans un premier sens de transmission de couple et en compression dans un deuxième sens de transmission de couple, opposé au premier sens de transmission de couple. Dans le premier sens de transmission de couple, la rondelle d'entrée est menante et la rondelle de sortie menée et dans le deuxième sens de transmission de couple, la rondelle d'entrée est menée et la rondelle de sortie menante.
- [0022] Selon un autre aspect de la présente invention, les premiers et deuxièmes axes de transmission de la rondelle intermédiaire sont disposés de sorte que pour la première et la deuxième paires de maillons, un premier maillon de la paire travaille en traction et un deuxième maillon de la paire travaille en compression lorsqu'un couple est transmis.
- [0023] Selon un autre aspect de la présente invention, les maillons sont des maillons de chaîne standards.
- [0024] Selon un autre aspect de la présente invention, la rondelle intermédiaire comprend une collerette s'étendant axialement de part et d'autre du centre de la rondelle pour former une section en T afin d'éviter une ovalisation de ladite rondelle intermédiaire lorsque le dispositif de transmission de couple est en charge.
- [0025] Selon un autre aspect de la présente invention, les maillons sont disposés dans l'épaisseur formée par la collerette de la rondelle intermédiaire.
- [0026] Selon un autre aspect de la présente invention, les axes de transmission sont en saillie par rapport aux maillons et des lamages sont ménagés dans la rondelle d'entrée, la rondelle intermédiaire et la rondelle de sortie en regard des axes de transmissions associés à une rondelle adjacente pour permettre la saillie des axes de transmission.
- [0027] La présente invention concerne également un dispositif d'assistance électrique, notamment pour cycle, comprenant :
- un moteur électrique comprenant un arbre de sortie et configuré pour être monté autour d'un axe central,
 - un réducteur configuré pour être monté autour de l'axe central,
 - une roue libre configurée pour être montée autour de l'axe central,
 - un dispositif de transmission de couple tel que décrit précédemment configuré pour être monté autour de l'axe central, le réducteur, la roue libre et le dispositif de transmission de couple formant une chaîne de transmission de couple entre l'arbre de

sortie du moteur électrique et un axe de sortie du dispositif d'assistance électrique.

- [0028] Un tel dispositif d'assistance pour cycle augmente le nombre de degrés de liberté et limite ainsi les frottements lorsque l'utilisateur, par son pédalage, introduit des déformations et des contraintes au niveau du pédalier et a un encombrement réduit ce qui facilite son intégration dans le boîtier de pédalier.
- [0029] Selon un autre aspect de la présente invention, le réducteur comprend une entrée configurée pour être couplée en rotation à l'arbre de sortie du moteur électrique et une sortie configurée pour être couplée en rotation à la rondelle d'entrée du dispositif de transmission de couple.
- [0030] Selon un autre aspect de la présente invention, la roue libre comprend une entrée configurée pour être couplée en rotation à la rondelle de sortie du dispositif de transmission de couple et une sortie configurée pour être couplée en rotation à l'axe de sortie du dispositif d'assistance électrique.
- [0031] Selon un autre aspect de la présente invention, l'axe central de pédalier du cycle est maintenu en position par une unique paire de roulements disposée entre un cadre du cycle et l'axe central de pédalier.
- [0032] L'utilisation d'une unique paire de roulements pour maintenir l'axe de pédalier réduit les contraintes entre le moto-réducteur et le pédalier et permet ainsi de réduire les frottements et les bruits suscités par ces contraintes.
- [0033] Selon un autre aspect de la présente invention, le moteur électrique, le réducteur, le dispositif de transmission de couple et la roue libre sont configurés pour être disposés de manière adjacente le long de l'axe central de pédalier.
- [0034] La présente invention concerne également un cycle comprenant un cadre, un axe central de pédalier monté rotatif sur le cadre et un dispositif d'assistance électrique tel que décrit précédemment.
- [0035] Selon un autre aspect de la présente invention, le moteur électrique et le réducteur sont montés sur le cadre de manière indépendante à l'axe central de pédalier.
- [0036] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante, donnée à titre d'exemple illustratif et non limitatif, et des dessins annexés parmi lesquels:
- [0037] [Fig.1] représente une première vue schématique éclatée et en perspective d'un dispositif de transmission de couple selon un mode de réalisation de la présente invention;
- [0038] [Fig.2] représente une deuxième vue schématique éclatée et en perspective du dispositif de transmission de couple de la [Fig.1];
- [0039] [Fig.3a] représente une vue de face d'une rondelle intermédiaire et des deux paires de maillons dans le cas d'un désalignement de l'axe X1 de la rondelle d'entrée avec l'axe X3 de la rondelle de sortie;

- [0040] [Fig.3b] représente une vue en perspective d'une rondelle intermédiaire et des deux paires de maillons conformément à la [Fig.3a];
- [0041] [Fig.3c] représente une vue éclatée d'une rondelle intermédiaire et des deux paires de maillons conformément à la [Fig.3a];
- [0042] [Fig.4] représente un schéma d'un cadre de cycle équipé d'un dispositif d'assistance électrique pour cycle;
- [0043] [Fig.5] représente une vue en perspective d'un pédalier et d'un dispositif d'assistance électrique pour cycle;
- [0044] [Fig.6] représente une vue en perspective et en coupe axiale d'un dispositif d'assistance électrique pour cycle selon la présente invention;
- [0045] [Fig.7] représente une vue en coupe radiale d'un dispositif d'assistance électrique pour cycle selon une première section ;
- [0046] [Fig.8] représente une vue en coupe radiale d'un dispositif d'assistance électrique pour cycle selon une deuxième section;
- [0047] [Fig.9] représente une représentation schématique d'un dispositif d'assistance électrique pour cycle selon la présente invention;
- [0048] [Fig.10] représente une vue en coupe axiale d'un dispositif d'assistance électrique pour cycle selon la présente invention;
- [0049] [Fig.11] représente une vue de face d'une rondelle intermédiaire et des deux paires de maillons selon un mode de réalisation alternatif.
- [0050] Dans ces figures, les éléments identiques portent les mêmes références.
- [0051] Les réalisations suivantes sont des exemples. Bien que la description se réfère à un ou plusieurs modes de réalisation, ceci ne signifie pas nécessairement que chaque référence concerne le même mode de réalisation, ou que les caractéristiques s'appliquent seulement à un seul mode de réalisation. De simples caractéristiques de différents modes de réalisation peuvent également être combinées ou interchangées pour fournir d'autres réalisations.
- [0052] Dans la présente description, on peut indexer certains éléments ou paramètres, comme par exemple premier élément ou deuxième élément ainsi que premier paramètre et second paramètre ou encore premier critère et deuxième critère, etc. Dans ce cas, il s'agit d'un simple indexage pour différencier et dénommer des éléments ou paramètres ou critères proches, mais non identiques. Cette indexation n'implique pas une priorité d'un élément, paramètre ou critère par rapport à un autre et on peut aisément interchanger de telles dénominations sans sortir du cadre de la présente description. Cette indexation n'implique pas non plus un ordre dans le temps par exemple pour apprécier tel ou tel critère.
- [0053] Les figures 1 et 2 représentent des vues en perspective d'un dispositif de transmission de couple 200 selon un mode de réalisation de la présente invention. Le dispositif de

transmission de couple 200 comprend une rondelle d'entrée 203a destinée à être couplée en rotation à un premier ensemble mécanique rotatif. La rondelle d'entrée 203a est configurée pour s'étendre dans un plan perpendiculaire à un axe dit axe central d'entrée X1. La rondelle d'entrée 203a comprend deux axes de transmission 231 et 232 s'étendant parallèlement à l'axe central d'entrée X1, d'un premier côté de la rondelle d'entrée 203a et dans une direction axiale. Les axes de transmission 231 et 232 sont disposés à égale distance de l'axe central d'entrée X1. Les axes de transmission 231 et 232 sont par exemple réalisés par des plots cylindriques. Les plots cylindriques peuvent être fixés sur la rondelle d'entrée 203a, par exemple par emmanchement serré, par soudure ou sertis ou peuvent venir de matière avec la rondelle d'entrée 203a. Dans le mode de réalisation des figures 1 et 2, les axes de transmission 231 et 232 sont disposés de manière diamétralement opposée par rapport à l'axe central d'entrée X1 mais d'autres positions sont également possibles.

[0054] Le dispositif de transmission de couple 200 comprend également une rondelle de sortie 203c destinée à être couplée en rotation à un deuxième ensemble mécanique rotatif. La rondelle de sortie 203c est configurée pour s'étendre dans un plan perpendiculaire à un axe dit axe central de sortie X3. La rondelle de sortie 203c comprend deux axes de transmission 233 et 234 s'étendant parallèlement à l'axe central de sortie X3 d'un premier côté de la rondelle de sortie 203c et dans une direction axiale. Les axes de transmission 233 et 234 sont disposés à égale distance de l'axe central de sortie X3. Les axes de transmission 233 et 234 sont par exemple réalisés par des plots cylindriques. Les plots cylindriques peuvent être fixés sur la rondelle de sortie 203c, par exemple par emmanchement serré, par soudure ou sertis ou peuvent venir de matière avec la rondelle de sortie 203c.

[0055] Dans le mode de réalisation de la [Fig.1], les axes de transmission 233 et 234 sont disposés de manière diamétralement opposée par rapport à l'axe central de sortie X3 mais d'autres positions sont également possibles.

[0056] Le dispositif de transmission de couple 200 comprend également une rondelle intermédiaire 203b disposée axialement entre la rondelle d'entrée 203a et la rondelle de sortie 203c. La rondelle intermédiaire 203b est mieux visible sur les figures 3a, 3b et 3c. La rondelle intermédiaire 203b est configurée pour s'étendre dans un plan perpendiculaire à un axe dit axe central intermédiaire X2. Les trois rondelles 203a, 203b et 203c sont disposées sensiblement coaxialement de sorte que les trois axes X1, X2 et X3 peuvent être confondus. La rondelle intermédiaire 203b comprend deux axes de transmission 235 et 236 s'étendant d'un premier côté de la rondelle intermédiaire 203b dans une direction axiale parallèle à l'axe central intermédiaire X2. Ce premier côté de la rondelle intermédiaire 203b est destiné à être en regard avec le côté de la rondelle d'entrée 203a comprenant les axes de transmission 231 et 232. Dans le mode de réa-

lisation de la [Fig.1], les axes de transmission 235 et 236 sont disposés de manière diamétralement opposée par rapport à l'axe central intermédiaire X2 mais d'autres positions sont également possibles. Les axes de transmission 235 et 236 sont disposés à égale distance de l'axe intermédiaire X2.

- [0057] La rondelle intermédiaire 203b comprend deux autres axes de transmission 237 et 238 s'étendant d'un deuxième côté de la rondelle intermédiaire 203b dans une direction axiale parallèle à l'axe central intermédiaire X2. Ce deuxième côté de la rondelle intermédiaire 203b est destiné à être en regard avec le côté de la rondelle de sortie 203c comprenant les axes de transmission 233 et 234. Dans le mode de réalisation de la [Fig.1], les axes de transmission 237 et 238 sont disposés de manière diamétralement opposée par rapport à l'axe central intermédiaire X2 mais d'autres positions sont également possibles. Les axes de transmission 237 et 238 sont disposés à égale distance de l'axe central intermédiaire X2. De plus, les axes de transmission 237 et 238 (menés) sont décalés de moins d'un quart de tour (en retard par rapport au sens normal d'entraînement) par rapport aux axes de transmission 235 et 236 (menants).
- [0058] Les axes de transmission 235, 236, 237 et 238 de la rondelle intermédiaire 203b sont par exemple réalisés par des plots cylindriques. Les plots cylindriques peuvent être fixés sur la rondelle intermédiaire 3b, par exemple par soudure ou sertis ou peuvent venir de matière avec la rondelle intermédiaire 203b. Dans ce cas la rondelle intermédiaire 203b peut comporter une zone de renfort locale sur la face opposée à l'axe de transmission 235, 236, 237 et 238, en forme de pavé rectangulaire, visible aux figures 1, 2, 3a, 3b, 3c, afin de renforcer l'encastrement de l'axe de transmission 235, 236, 237 et 238 dans l'âme de la rondelle intermédiaire 203b.
- [0059] La rondelle intermédiaire 203b peut également comprendre une collerette 209, notamment dans la partie centrale de la forme annulaire de la rondelle intermédiaire, la collerette 209 pouvant s'étendre axialement de part et d'autre du centre de la rondelle intermédiaire 203b pour former une section en T. Le section en T permet de rigidifier radialement la rondelle intermédiaire 203b et ainsi éviter son ovalisation lorsque le dispositif de transmission de couple 200 est en charge.
- [0060] Le dispositif de transmission de couple 200 comprend également une première paire de maillons 205a, 205b disposée entre la rondelle d'entrée 203a et la rondelle intermédiaire 203b. Les maillons 205a et 205b de la première paire sont couplés d'un premier côté à la rondelle d'entrée 203a et d'un deuxième côté, opposé au premier côté, à la rondelle intermédiaire 203b via les axes de transmission 231, 232, 235 et 236. Les maillons 205a et 205b de la première paire comprennent un premier trou situé à une première extrémité du maillon 205a, 205b et configurés pour recevoir respectivement un axe de transmission 231, 232 associé à la rondelle d'entrée 203a et un deuxième trou situé à une deuxième extrémité du maillon 205a, 205b et configurés

pour recevoir respectivement un axe de transmission 235, 236 associé à la rondelle intermédiaire 203b. De préférence, les maillons 205a, 205b de la première paire sont disposés de manière diamétralement opposée par rapport à l'axe central intermédiaire X2 (ou par rapport à l'axe central d'entrée X1) mais un écart de quelques degrés, par exemple 10° par rapport à la direction diamétralement opposée peut être acceptable.

[0061] Le dispositif de transmission de couple 200 comprend également une deuxième paire de maillons 207a, 207b couplés d'un premier côté à la rondelle intermédiaire 203b et d'un deuxième côté, opposé au premier côté, à la rondelle de sortie 203c via les axes de transmission 233, 234, 237 et 238, les maillons 207a, 207b de la deuxième paire étant disposés de manière diamétralement opposée par rapport à l'axe central intermédiaire X2.

[0062] Les maillons 207a et 207b de la deuxième paire comprennent un premier trou situé à une première extrémité du maillon 207a, 207b et configurés pour recevoir respectivement un axe de transmission 237, 238 associé à la rondelle intermédiaire 203b et un deuxième trou situé à une deuxième extrémité du maillon 207a, 207b et configurés pour recevoir respectivement un axe de transmission 233, 234 associé à la rondelle de sortie 203c.

[0063] De préférence, les maillons 207a, 207b de la deuxième paire sont disposés de manière diamétralement opposée par rapport à l'axe central intermédiaire X2 (ou par rapport à l'axe central de sortie X3) mais un écart de quelques degrés, par exemple 10° par rapport à la direction diamétralement opposée peut être acceptable.

[0064] De plus, du fait de la position des axes de transmission 235, 236, 237 et 238 de la rondelle intermédiaire 203b, les deux paires de maillons 205a, 205b, 207a, 207b sont alignées suivant deux directions respectives sensiblement perpendiculaires entre elles notées d1 pour la première paire 205a et 205b et d2 pour la deuxième paire 207a, 207b sur la [Fig.3a]. Une telle disposition des maillons 205a, 205b, 207a, 207b permet une transmission de couple même en l'absence de coaxialité entre l'axe central d'entrée X1 et l'axe central de sortie X3. De plus cette transmission est en pratique totalement homocinétique puisque l'erreur de transmission générée n'est pas mesurable expérimentalement. Néanmoins le calcul de l'erreur de transmission par simulation numérique ou de manière analytique donne une erreur de transmission calculée $< 6.10^{-6}$ pour une excentration des axes X1 et X3 volontairement exagérée de 1 mm alors que l'excentration usuelle sera probablement inférieure au dixième de mm. L'homocinétisme de cet accouplement en rotation est un facteur essentiel pour le silence de fonctionnement du système afin d'éviter des pulsations d'excitations périodiques dans la transmission de couple.

[0065] Dans le mode de réalisation présenté, du fait de la position des axes de transmission 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238 (les axes de transmission d'un côté d'une

rondelle 203a, 203b, 203c sont disposés de manière diamétralement opposée) les maillons 205a, 205b, 207a, 207b travaillent en traction dans un premier sens de transmission de couple et en compression dans le sens de transmission de couple opposé (qui n'est pas utilisé dans le cas d'une application liée à un pédalier de cycle).

[0066] Lors de la transmission de couple, la rondelle intermédiaire se trouve sollicitée par la traction simultanée des 4 maillons 205a, 205b, 207a, 207b, la somme vectorielle de ces efforts est sensiblement nulle se traduisant par la transmission d'un couple pur, Cependant comme on peut le constater sur la [Fig.3a], les actions du maillon 205a et du maillon 207b sont sensiblement perpendiculaires et la résultante de ces deux actions est une charge centripète dirigée selon la médiane des deux maillons 205a, 207b, il en va de même de manière symétrique par rapport à l'axe X2, pour les 2 autres maillons 205b et 207a, ainsi la rondelle intermédiaire 203b est sollicitée par deux efforts centripètes opposés induisant une sollicitation de flexion tendant à ovaliser la rondelle intermédiaire 203b sous l'action de ces deux forces centripètes opposées, il est donc souhaitable de renforcer et rigidifier l'âme de cette rondelle par une section en T (visible sur les figures 6 et 10) procurée par la collerette 209 afin de diminuer sa déformation et ses contraintes tout en restant très étroite puisque les branches du T correspondant à la demi-hauteur de la collerette 209 font sensiblement la même épaisseur que les maillons positionnés de chaque côté, Les maillons 205a, 205b, 207a, 207b sont ainsi configurés pour venir se positionner dans le volume formé par la collerette 209 de part et d'autre de l'âme de la rondelle intermédiaire 203b de sorte que la collerette 209 procure une rigidité accrue à la rondelle intermédiaire 203b sans augmenter l'épaisseur axiale du dispositif de transmission de couple 200. Cette structure de rondelle intermédiaire 203b est ainsi particulièrement résistante, compacte et légère.

[0067] Afin d'assurer une bonne liaison entre les maillons 205a, 205b, 207a, 207b et leurs axes respectifs 231, 232, 234, 235, 236, 237, 238, il est nécessaire que ces derniers traversent complètement le maillon associé et que leur extrémité (qui est de préférence chanfreinée pour faciliter le montage), dépasse en saillie de plusieurs dixièmes de mm du plan externe du maillon afin que le maillon ne puisse pas s'éjecter de son axe de transmission, Il est donc aménagé pour cela huit lamages ou dégagements 211 ménagés dans les différentes rondelles 203a, 203b, 203c. Le diamètre des lamages est supérieur au diamètre des axes de transmission 231, 232, 234, 235, 236, 237, 238 pour permettre de loger avec du jeu l'extrémité saillante des axes de transmission 231, 232, 234, 235, 236, 237, 238.

[0068] Comme on peut le voir aux figures 1 et 2, la rondelle intermédiaire 203b ainsi que la rondelle de sortie 203c sont insérées dans un logement réalisé dans la rondelle d'entrée 203a, l'ensemble étant maintenu axialement par un anneau élastique 213 permettant d'immobiliser l'accouplement axialement et notamment éviter que les maillons 205a,

205b, 207a, 207b puissent s'éjecter axialement de leur axe transmission 231, 232, 234, 235, 236, 237, 238.

- [0069] Lorsque les maillons 205a, 205b, 207a, 207b travaillent tous en traction, la rondelle intermédiaire 203b a alors une position d'équilibre unique très stable de sorte que si l'on tente de l'écarter de sa position d'équilibre elle va d'elle-même tendre à revenir vers sa position d'équilibre, en revanche lorsque les maillons 205a, 205b, 207a, 207b travaillent en compression, en inversant par exemple le sens du couple transmis, si l'on écarte la rondelle intermédiaire 203b de sa position d'équilibre elle peut diverger vers une position excentrée ou l'entraînement ne sera alors plus homocinétique, même si les frottements ont tendance à stabiliser la rondelle intermédiaire lorsque l'axe d'entrée X1 et l'axe de sortie X3 sont peu excentrés. Il est donc fortement recommandé avec ce type d'accouplement de transmettre un couple provoquant la mise en tension des maillons 205a, 205b, 207a, 207b.
- [0070] Les maillons 205a, 205b, 207a, 207b utilisés sont par exemple des maillons de chaîne standards, notamment ayant un pas de 9,525mm (3/8 de pouce) mais d'autres types de maillons peuvent également être utilisés. L'utilisation de maillons de chaîne standards permet de réduire les coûts de production du dispositif de transmission de couple 200.
- [0071] Selon un mode de réalisation alternatif, au moins certains axes de transmission d'un côté d'une rondelle sont décalés par rapport à une position diamétralement opposée de sorte que l'un des maillons d'une paire travaille en traction et l'autre en compression dans chaque sens de transmission de couple de sorte que la liaison entre la première rondelle d'entrée 203a et la rondelle intermédiaire 203b soit pilotée par un parallélogramme déformable composé de 2 maillons 205a et 205b libérant ainsi un premier degré de liberté dans un plan normal à l'axe X1, il pourra en être de même pour la liaison entre la rondelle intermédiaire 203b et la rondelle de sortie 203c formée d'un second parallélogramme déformable ayant une direction de déplacement sensiblement perpendiculaire au premier parallélogramme déformable libérant ainsi le second degré de liberté dans un plan normal à l'axe X1. La [Fig.11] représente un exemple d'un tel mode de réalisation. La [Fig.11] diffère notamment de la [Fig.3a] par la position inversée des axes de transmission 232 et 236. Ainsi, dans un premier sens de transmission de couple, le maillon 205a travaille en traction et le maillon 205b en compression tandis que dans le sens de transmission de couple inverse, le maillon 205b travaille en traction et le maillon 205a travaille en compression.
- [0072] De la même manière, une configuration analogue peut être réalisée pour la deuxième paire de maillon 207a, 207b. Cette configuration permet d'obtenir un dispositif de transmission de couple 200 parfaitement homocinétique. Cette configuration sera privilégiée dans les applications pour lesquelles le couple doit être transmis dans les deux sens de transmission de couple.

- [0073] Dans le mode de réalisation des figures 1 et 2, dans un premier sens de transmission de couple, les maillons 205a et 205b de la première paire et les maillons 207a et 207b travaillent en traction pour transmettre le couple entre la rondelle d'entrée 203a et la rondelle de sortie 203c et dans un deuxième sens de transmission de couple, les maillons 205a et 205b de la première paire et les maillons 207a et 207b travaillent en compression pour transmettre le couple entre la rondelle d'entrée 203a et la rondelle de sortie 203c. Comme indiqué précédemment, dans le cas d'une utilisation unidirectionnelle (couple toujours transmis dans le même sens de transmission de couple comme dans le cas d'un cycle), le sens de transmission de couple dans lequel les maillons 205a, 205b, 207a, 207b travaillent en traction sera privilégié.
- [0074] De plus, il est à noter que les maillons 205a, 205b de la première paire sont montés rotatifs d'une part avec les axes de transmission 231, 232 de la rondelle d'entrée 203a et d'autre part avec les premiers axes de transmission 235, 236 de la rondelle intermédiaire 203b et les maillons 207a, 207b de la deuxième paire sont montés rotatifs d'une part avec les deuxièmes axes de transmission 237, 238 de la rondelle intermédiaire 203b et d'autre part avec les axes de transmission 233, 234 de la rondelle de sortie 203c de sorte que l'axe central intermédiaire X2 peut être décalé par rapport à l'axe central d'entrée X1 et l'axe central de sortie X3 peut être décalé par rapport à l'axe central intermédiaire X2. Ainsi, l'axe central de sortie X3 peut être décalé dans toutes les directions par rapport à l'axe central d'entrée X1.
- [0075] Ainsi, le dispositif de transmission de couple 200 décrit précédemment permet de coupler en rotation deux ensembles mécaniques rotatifs pouvant avoir un écart de coaxialité, c'est-à-dire que l'axe de rotation du premier ensemble mécanique rotatif peut ne pas être confondu avec l'axe de rotation du deuxième ensemble mécanique rotatif. Néanmoins, les axes de rotation doivent être sensiblement confondus, c'est-à-dire compris dans un cylindre commun dont le diamètre est inférieur à quelques millimètres, par exemple inférieur à 2mm, par exemple égal à 0,7 mm. Le dispositif de transmission de couple 200 agit ainsi comme un joint d'Oldham et permet d'assurer une transmission de couple entre deux ensembles mécaniques rotatifs sans générer de pertes ou de bruits même en cas de défaut de coaxialité. De plus, l'utilisation d'un dispositif de transmission de couple 200 comprenant une première paire de maillons reliant une rondelle d'entrée 203a et une rondelle intermédiaire 203b et une deuxième paire de maillons reliant une rondelle de sortie 203c et la rondelle intermédiaire 203b permet d'obtenir un dispositif de transmission de couple 200 dont la dimension axiale est réduite, par exemple comprise entre 3,5 mm et 6 mm. puisque l'épaisseur des rondelles et des maillons qui peuvent être réalisés dans un acier très résistant peut être réduite et que les rondelles peuvent être disposées proches les unes des autres.
- [0076] Un des avantages d'utiliser des maillons pivotants, c'est qu'ils réduisent énormément

le travail des frottements du fait que la vitesse de glissement dans les trous du maillon est beaucoup plus faible qu'avec une glissière comme dans le cas d'un joint d'Oldham, Le travail des frottements est ainsi réduit par le rapport L/d ou L représente l'entraxe du maillon et d le diamètre des axes de transmission, dans notre exemple $L = 9,525$ mm et $d=3,2$ mm soit un rapport de réduction d'un tiers. Le coefficient de frottement et l'usure des axes peut être considérablement réduit en réalisant un traitement de nitruration sur les axes et/ou maillons afin d'optimiser un fonctionnement durable et peu frottant de cet accouplement. Un tel dispositif de transmission de couple 200 est particulièrement adapté pour être utilisé dans un motoréducteur de vélo électrique disposé au niveau du pédalier du cycle de manière à ce que l'action du cycliste qui tend à déformer le boîtier de pédalier et ainsi à rendre non-coaxiale la sortie du motoréducteur et l'axe de pédalier n'entraîne pas de frottements ou bruits parasites. Un exemple d'un tel motoréducteur comprenant un dispositif de couple 200 va être décrit plus en détail dans la suite de la description.

- [0077] La [Fig.4] montre un cadre 100 d'un cycle comprenant un dispositif d'assistance électrique 101.
- [0078] Le dispositif d'assistance électrique 101 comporte un motoréducteur 1 monté dans un pédalier 102 du cycle, sur l'axe central 103 du pédalier, dans un logement du cadre 100 (figures 4 et 5).
- [0079] De manière connue en soi, l'axe central 103 du pédalier, rotatif, est relié aux pédales (non représentées) via deux manivelles 104. Le pédalier 102 comprend également au moins un plateau denté 105, ici deux, fixé(s) à la base d'une des manivelles 104 et configuré(s) pour entraîner la chaîne entraînant la roue arrière du cycle.
- [0080] Mieux visible sur la vue en coupe axiale de la [Fig.6], le motoréducteur 1 comprend un réducteur 2, un moteur électrique 3 et un dispositif de transmission de couple 200, configurés pour pouvoir être montés coaxialement sur l'axe central 103.
- [0081] Le moteur électrique 3 comporte un rotor 4 solidaire en rotation d'un arbre 5, et un stator 6 fixé dans un carter 7 du motoréducteur 1, le carter 7 étant lui-même reçu et fixé dans le cadre 100.
- [0082] Le moteur électrique 3 est par exemple un moteur sans balais (« brushless » en anglais), le rotor 4 comprenant des aimants permanents tournant à l'intérieur du stator 6 comprenant des bobinages, par exemple triphasés. Les aimants permanents du rotor 4 sont fixés sur l'arbre 5. Des capteurs de position angulaire du rotor 4 et de l'axe central 103 du pédalier 102, permettent en outre le pilotage du moteur électrique 3.
- [0083] L'arbre 5 est tubulaire, c'est-à-dire creux, pour permettre le passage de l'axe central 103 relié ici aux manivelles 104. Il forme l'entrée du réducteur 2.
- [0084] Le réducteur 2 comprend une couronne dentée 10 solidaire du carter 7 et donc du stator 6, un porte-satellite 11 monté pivotant via au moins un roulement de flasque 22,

23 autour de l'arbre 5, et au moins deux pignons satellites 12, 13 excentrés et situés sur deux plans parallèles. La couronne dentée 10 engrène dans deux plans différents les deux pignons satellites 12, 13 du côté intérieur de la couronne dentée 10. Le porte-satellite 11 forme la sortie du réducteur 2.

[0085] Les pignons satellites 12, 13 sont montés d'une part, sur des cames excentriques 14 respectives via un roulement 15 respectif et sont d'autre part, traversés par au moins trois axes 16 du porte-satellite 11. Le réducteur 2 comporte par exemple six axes 16. Les cames excentriques 14 sont solidaires de l'arbre 5.

[0086] Le réducteur 2 est de type cycloïdal, il permet de réduire la vitesse de l'arbre 5 avec un rapport relativement élevé dans des dimensions relativement compactes. L'arbre 5 entraîne les roulements 15 excentriques qui à leur tour entraînent les pignons satellites 12, 13 dans un mouvement cycloïdal excentrique.

[0087] Les pignons satellites 12, 13 s'engrènent sur la couronne dentée 10 en étant déphasés en rotation. Les pignons satellites 12, 13 comportent des dents de forme cycloïdale tronquée (ou une denture en développante de cercle), ici au nombre de 45, et la couronne dentée 10 comporte des dents, ici au nombre de 46, ayant des portions de cylindre (ou en développante de cercle) coopérant avec la forme des pignons 12, 13. Ces dentures de forme cycloïdale tronquée sont visibles sur la [Fig.7]. Le réducteur 2 comporte par exemple deux pignons satellites 12, 13 déphasés en rotation de 180° ([Fig.6]) ou trois pignons satellites déphasés les uns des autres de 120° (non représentés). L'utilisation de plusieurs pignons satellites 12, 13 déphasés en rotation permet de compenser les efforts radiaux exercés notamment sur les pignons satellites 12, 13 du fait du couple élevé de sortie.

[0088] Selon un exemple de réalisation, le porte-satellite 11 comporte un premier flasque 17 et un deuxième flasque 18 reliés entre eux par une série d'entretoises 19 (au moins trois), par exemple six entretoises 19 (visibles sur la vue en coupe transversale de la [Fig.7]). Ces entretoises 19 sont fixées dans chacun des flasques 17, 18 par des vis 20 traversant les entretoises 19 (une vis 20 par entretoise 19) reliant les deux flasques 17, 18. Les pignons satellites 12, 13 sont axialement interposés entre les flasques 17, 18, le porte-satellite 11 formant ainsi une cage coaxiale à l'arbre 5 et à la couronne dentée 10 pour les pignons satellites 12, 13 excentrés par les cames excentriques 14.

[0089] Les entretoises 19 traversent les pignons satellites 12, 13 au travers d'ouvertures 21, ici six (autant d'ouvertures 21 que d'entretoises 19), par exemple cylindriques. Il y a suffisamment de jeu entre les entretoises 19 et les ouvertures 21 pour qu'ils n'entrent pas en contact les uns avec les autres. Les ouvertures 21 sont régulièrement formées sur un cercle dans les faces des pignons satellites 12, 13.

[0090] Le réducteur 2 comporte également au moins un roulement de flasque 22, 23 pour le centrage du porte-satellite 11 autour de l'arbre 5. Par exemple, le réducteur 2 comporte

un premier roulement de flasque 22 interposé entre le premier flasque 17 du porte-satellite 11 et l'arbre 5, pour centrer le premier flasque 17, et un deuxième roulement de flasque 23 interposé entre le deuxième flasque 18 du porte-satellite 11 et l'arbre 5 pour centrer le deuxième flasque 18 ([Fig.6]).

- [0091] Le couple de sortie du réducteur 2 est transmis à l'axe central 103 du pédalier par l'intermédiaire du dispositif de transmission de couple 200 permettant de transmettre le couple tout en tolérant un léger désaxage radial. Une roue libre 25 peut être interposée entre l'arbre de sortie 26 relié au plateau denté 105 du cycle et la sortie du dispositif de transmission de couple 200. La roue libre 25 permet notamment de désaccoupler le motoréducteur 1 en cas de vitesse trop élevée ou en cas de rétropédalage ou de recul ou lorsque le cycliste ne souhaite plus d'assistance.
- [0092] La couronne dentée 10 est fixée au carter 7 du motoréducteur 1. Les dentures de la couronne 10 sont par exemple directement réalisées dans le carter 7. Les pignons 12, 13 sont engrenés sur la couronne dentée 10 « fixe ».
- [0093] Les axes 16 traversant les faces des pignons satellites 12, 13, transmettent la poussée exercée par les pignons satellites 12, 13 vers le porte-satellite 11 qui est l'organe de sortie du réducteur 2. Les axes 16 (ou axes de sortie), entraînent la sortie du réducteur 2 en rotation, coaxialement à l'arbre 5 lorsque les pignons satellites 12, 13 tournent. Le sens de rotation des pignons satellites 12, 13 et de la sortie est opposé à celui de l'arbre 5 et lorsque l'arbre 5 tourne d'un tour, les pignons satellites 12, 13 se décalent angulairement d'une dent dans l'autre sens, entraînant la sortie à une vitesse de rotation inférieure à la vitesse de rotation de l'arbre 5, ici quarante-cinq fois inférieure.
- [0094] Les axes 16 traversent tous les pignons satellites 12, 13. Chaque axe 16 est en contact avec un trou 31 de chaque pignon satellite 12, 13, soit deux trous 31 dans le cas d'un réducteur 2 à deux pignons satellites 12, 13. Les axes 16 étant cylindriques, les trous 31 doivent comporter au moins une portion cylindrique dans le sens transmettant le couple. Les trous 31 sont par exemples cylindriques.
- [0095] Le motoréducteur 1 peut en outre comporter une paire de roulements d'axe 33 par axe 16, un roulement d'axe 33 étant monté à chaque extrémité des axes 16 ([Fig.6]). Il y a ainsi douze petits roulements d'axe 33 reçus dans les flasques 17, 18 du porte-satellite 11 du motoréducteur 1 illustré. L'intérêt de ces roulements d'axe 33 est de minimiser les pertes de chacun des paliers des axes 16 lors de leur rotation sous charge. Les axes 16 roulent sans glisser dans les trous 31 de chacun des pignons satellites 12, 13 minimisant ainsi les pertes qui seraient dues au glissement sous charge.
- [0096] Les trous 31 des pignons satellites 12, 13 sont régulièrement ménagés dans les faces des pignons satellites 12, 13, sur un cercle, les trous 31 s'alternant avec les ouvertures 21 dans lesquels passent les entretoises 19 ([Fig.7]).
- [0097] Selon un exemple de réalisation, le motoréducteur 1 comporte en outre un roulement

de rotor 34 configuré pour centrer une première extrémité de l'arbre 5, l'extrémité menante (côté moteur), sur un axe fixe du motoréducteur 1 et un dispositif de roulements 36 comportant des éléments roulants déformables 37, le dispositif de roulements 36 étant interposé entre le porte-satellite 11 et un logement cylindrique du carter 7, pour le centrage de l'arbre 5 dans le logement cylindrique, à une deuxième extrémité, l'extrémité menée (figures 6 et 9).

[0098] Le logement cylindrique est formé dans le carter 7. Le carter 7 est fixe par rapport au bâti, c'est-à-dire par rapport au cadre 100 du cycle. L'axe fixe est l'axe du logement cylindrique du carter 7.

[0099] Dans l'exemple des figures 4 à 10, les éléments roulants déformables 37 sont interposés entre le deuxième flasque 18 du porte-satellite 11 et le logement cylindrique du carter 7. Une portée recevant les éléments roulants déformables 37 peut être ménagée dans le porte-satellite 11, dans le deuxième flasque 18, et dans le logement cylindrique du carter 7.

[0100] L'arbre 5 solidaire en rotation du rotor 4 du moteur électrique 3 tourne sur le roulement de rotor 34 placé à une de ses extrémités, l'extrémité menante, alors que l'autre extrémité menée est laissée « libre ou flottante » pour s'auto-centrer sous la poussée radiale opposée des pignons satellites 12, 13 (voir la [Fig.9] schématique). Ainsi cette deuxième extrémité se positionne d'elle-même radialement lorsqu'un couple de transmission significatif est transmis.

[0101] En revanche, dans les phases de fonctionnement à vide, c'est à dire lorsqu'aucun couple de transmission n'est transmis ou pour les faibles couples, la deuxième extrémité menée du réducteur 2 est autocentrée par les éléments roulants déformables 37 élastiques.

[0102] Le centrage de la deuxième extrémité par les éléments roulants déformables 37 en cas de faibles couples permet d'éviter que les pignons satellites 12, 13 naviguent ou plutôt battent dans leur jeu fonctionnel, ce qui pourrait occasionner alors un bruit désagréable, en effet en leur absence le réducteur 2 ne pourrait se prépositionner de manière convenable par lui-même, ce qui pourrait également endommager les dentures.

[0103] L'autocentrage de l'arbre 5 par les éléments roulants déformables 37 permet qu'il ne soit plus guidé radialement de manière rigide à sa deuxième extrémité du côté des pignons satellites 12, 13 par un roulement à billes comme dans l'art antérieur. En revanche, dans l'invention illustrée schématiquement à la [Fig.9], on laisse cette deuxième extrémité s'auto-centrer jusqu'à l'équilibre des efforts radiaux générés par chacun des pignons satellites 12, 13. Cet équilibre est rendu possible par la libération de deux degrés de liberté dans un mouvement plan sensiblement normal à l'axe de rotation du rotor 4.

- [0104] Par ailleurs, l'autocentrage des pignons satellites 12, 13 permet de mieux répartir le couple transmis par chacun des pignons 12, 13. Cette meilleure répartition du couple permet de pouvoir réaliser un motoréducteur 1 avec des précisions de réalisation moindres, ce qui facilite sa réalisation et réduit son coût de fabrication. Également, les cames excentriques 14 des pignons satellites 12, 13 n'ont plus à être parfaitement déphasées entre elles. Ce type de défaut n'est plus du tout problématique car l'arbre 5 s'autocentre au milieu des cames excentriques 14 sous l'équilibre des efforts radiaux des pignons satellites 12, 13. De plus, l'absence de guidage radial rigide du côté des pignons 12, 13 permet que les possibles dissymétries du couple transmis entre les pignons satellites 12, 13 ne puissent plus engendrer de surcharge radiale du roulement côté pignons 12, 13 à l'origine de bruit, pertes de rendement et augmentation de l'usure.
- [0105] Il va de soi que pour permettre un petit déplacement plan des pignons 12, 13, il est nécessaire de prévoir un jeu de fonctionnement suffisant dans l'engrènement des pignons 12, 13 dans la couronne 10.
- [0106] Selon un exemple de réalisation, les éléments roulants déformables 37 sont montés précontraints radialement sur le chemin de roulement pour que le palier n'ait pas de jeu radial initial. Cette précontrainte ne doit pas pour autant gêner l'auto-centrage par les pignons satellites 12, 13 en cas de couples importants. Les éléments roulants déformables 37 sont donc déformables dans le domaine élastique et il est nécessaire qu'ils conservent bien leurs propriétés élastiques, notamment dans la durée et dans toute la gamme de température d'utilisation (en évitant tout phénomène de relaxation de contrainte et/ou de fluage).
- [0107] De préférence, les éléments roulants déformables 37 ont une précontrainte radiale suffisante pour que dans tous les cas extrêmes de jeu maxi entre le porte-satellite 12, 13, les éléments roulants déformables 37 et le logement cylindrique, le diamètre nominal des éléments roulants déformables 37 soit tel qu'il n'y ait pas de jeu radial. Dans ce cas, les éléments roulants déformables 37 doivent avoir suffisamment d'élasticité radiale afin d'accepter la déformation radiale imposée cette fois par le montage de serrage à laquelle se superpose en plus la course radiale nécessaire à l'auto-centrage.
- [0108] Il est toutefois possible de tolérer un jeu radial limité, c'est-à-dire sans précontrainte initiale des éléments roulants déformables 37, pour limiter l'amplitude du potentiel battement radial des pignons satellites 12, 13 dans la couronne dentée 10 mais ce jeu doit être alors inférieur au jeu fonctionnel radial des pignons satellites 12, 13 dans la couronne dentée 10.
- [0109] Dans l'exemple des figures 4 à 10, le roulement de rotor 34 est interposé entre l'arbre 5 et le stator 6 du moteur électrique 3 pour le centrage de l'arbre 5 à la première

extrémité menante du motoréducteur 1, l'arbre 5 étant monté de manière indépendante de l'axe central 103, notamment avec un jeu radial suffisant pour éviter tout contact ([Fig.6] et [Fig.9] schématique).

[0110] Avec ce montage, le motoréducteur 1 est totalement isolé de l'axe central 103.

L'arbre 5 monté de manière indépendante de l'axe central 103 est autocentré par les éléments roulants déformables 37.

[0111] Comme on peut mieux le voir sur la [Fig.9] schématique, l'arbre 5 est guidé uniquement à la première extrémité motrice par le roulement de rotor 34 centré dans le stator 6 du moteur électrique 3, les pignons satellites 12 et 13 étant montés en pivot sur leurs cames excentriques 14 respectives et s'engrenant dans la couronne dentée 10 liée au carter 7 (sur ce schéma les éléments roulants déformables ne sont pas représentés pour faciliter la compréhension). Ainsi les pignons satellites 12, 13 s'autocentrent sous l'effet de l'équilibre des efforts radiaux engendrés par la poussée de leur denture respective lors de la transmission de couple. Le porte-satellite 11 qui est lui aussi centré sur l'arbre 5, transmet le couple de sortie à l'axe central 103 du pédalier 104 par le biais du dispositif de transmission de couple 200 (schématisé de manière simpliste sur la [Fig.9] pour illustrer qu'un déplacement radial est possible entre le porte-satellite 11 et l'axe central 103 du pédalier). Cet autocentrage de l'arbre 5 et du porte satellite 11 contenant les pignons satellites 12, 13 est rendu possible par le dispositif d'accouplement de couple 200, qui permet à son axe d'entrée X1, formant la sortie du motoréducteur 1 de s'auto-centrer librement sans être perturbé par le déplacement radial de son axe de sortie X3 incarné par l'axe central 103, qui se déplace radialement sous l'effet des efforts de pédalage.

[0112] L'utilisation d'un accouplement connu de type joint d'Oldham à glissières frottantes, génère comme indiqué dans l'introduction, des efforts radiaux alternés variables en direction, sens et intensité quatre fois par tour. L'utilisation de ce type d'accouplement à la sortie du réducteur 2 génère des efforts radiaux qui tendent à s'opposer au libre auto-centrage des pignons 12, 13 dans leur engrènement dans la couronne dentée 10, L'utilisation de maillons pivotants 205a, 205b, 207a, 207b génère, contrairement aux glissières, des efforts radiaux qui sont considérablement réduits rendant le fonctionnement beaucoup plus libre et donc plus silencieux.

[0113] Selon un exemple de réalisation, les éléments roulants déformables 37 sont formés par une série de galets tubulaires disposés en cercle avec des axes respectifs parallèles entre eux et à un axe de l'arbre 5 ([Fig.8]). Les galets tubulaires (ou rouleaux ou tubes), sont des pièces cylindriques, c'est-à-dire creuses, ce qui permet d'augmenter leurs souplesses radiales à l'écrasement et permet de réduire les contraintes lorsqu'ils subissent une ovalisation de quelques centièmes de mm.

[0114] Les galets tubulaires sont par exemple dimensionnés pour permettre un déplacement

radial compris entre 0,02mm et 0,15mm sans risque d'endommagements en fatigue sur toute la durée de vie du motoréducteur 1.

- [0115] Lorsque le réducteur 2 transmet un couple sous charge, les galets tubulaires doivent être suffisamment souples radialement afin de ne pas s'opposer à l'auto-centrage des pignons satellites 12, 13 du réducteur 2 de sorte qu'ils puissent trouver leur équilibre radial sans trop de contraintes. La rigidité radiale des galets tubulaires doit être suffisante pour que les éléments roulants déformables 37 puissent se déformer pour permettre un certain déplacement du réducteur 2 tout en étant assez rigide pour pouvoir centrer le réducteur 2.
- [0116] En fonctionnement, les galets tubulaires tournent sur eux-mêmes comme un roulement à billes ou à rouleaux. Cette rotation fait travailler les parois tubulaires des galets en flexion rotative car les parois tubulaires se déforment alternativement en traction puis en compression, le galet tubulaire doit donc être dimensionné pour résister de préférence en fatigue illimitée.
- [0117] Le dispositif de roulements 36 comporte par exemple entre dix et cinquante éléments roulants déformables 37. L'augmentation du nombre d'éléments roulants déformables 37 permet d'augmenter la rigidité radiale initiale du réducteur 2 sans perte de couple.
- [0118] Selon un exemple de réalisation, les éléments roulants déformables 37 sont réalisés en matériau polymère, comme en matériau thermoplastique, tel qu'en matériau PEEK ou PAI.
- [0119] De nombreux matériaux polymères, et plus particulièrement les matériaux thermoplastiques PEEK ou PAI, permettent de conserver leurs propriétés à haute température et ne sont pas sensibles au fluage. Ils peuvent résister aux contraintes mécaniques et de température sans perdre de leur élasticité. Or, l'échauffement généré par les pertes du moteur électrique 3 et du réducteur 2 peuvent nécessiter que le motoréducteur 1 fonctionne à haute température (jusqu'à 90°C). La résistance au fluage et/ou la relaxation de contraintes permet que, lorsque les éléments roulants déformables 37 restent statiques pendant une longue période, ils ne viennent pas à s'ovaliser et générer un couple s'opposant à leur redémarrage. Les matériaux PEEK ou PAI permettent donc de conserver une précontrainte très stable au cours du temps.
- [0120] Les matériaux PEEK ou PAI ont de plus des propriétés d'hystérèse mécanique particulièrement faibles qui font que la déperdition d'énergie, liée à leur déformation cyclique et au roulement des éléments roulants déformables 37, est négligeable, ce qui assure ainsi une liaison sans frottement significatif.
- [0121] De nombreux matériaux thermoplastiques dont le PEEK ou PAI ou POM ont également de très bonnes propriétés tribologiques qui font que les éléments roulants déformables 37 peuvent rouler directement sur un chemin de roulement par exemple en alliage d'aluminium, sans revêtement de surface. Il est alors possible d'usiner le

chemin de roulement par une simple opération de tournage, directement dans un flasque 18 du porte-satellite 11 ou dans le logement cylindrique du carter 7, ce qui rend cette fonction de guidage en rotation très simple à réaliser et économique.

- [0122] Le dispositif de roulements 36 comporte par exemple une série d'éléments roulants déformables 37, par exemple des galets tubulaires, disposés les uns à côté des autres, tous identiques ([Fig.8]). Les éléments roulants déformables 37 sont disposés avec un jeu sur le chemin de roulement permettant leur ovalisation.
- [0123] A titre d'exemple, les éléments roulants déformables 37 sont des galets tubulaires PEEK de diamètre 7,4mm, de longueur 3,8mm et présentent une épaisseur de paroi tubulaire de 0,65mm, ce qui leur confère une rigidité diamétrale de 60N/mm. Il y a par exemple 26 galets tubulaires en matériau PEEK ayant une raideur $K = 60\text{N/mm}$, soit une raideur radiale du palier de 780N/mm.
- [0124] Le logement cylindrique du carter 7 présente un diamètre de 72,62mm $\pm 0,015$ et le diamètre de l'arbre du porte-satellite 11 du réducteur 2 est de 58 mm $\pm 0,01\text{mm}$. Le serrage nominal des galets tubulaires (précontrainte) est donc de $(72,62-58)/2-7,4 = 7,31 - 7,4 = 0,09\text{mm} \pm 0,04\text{mm}$ ce qui engendre un effort radial de $60 \times 0,09 = 5,4\text{N}$, qui est un niveau de contrainte tout à fait supportable par le PEEK pendant une durée quasi-infinie sans risque de relaxation à la température d'utilisation (contrainte maximale permanente de l'ordre de 20MPa).
- [0125] Des éléments roulants déformables 37 réalisés sous la forme de galets tubulaires en matériau polymère sont extrêmement légers relativement à des billes ou galets pleins en acier, puisque leur masse volumique est environ six fois plus faible que l'acier et qu'ils sont creux au lieu d'être pleins. Ainsi un galet tubulaire réalisé en matériau polymère pèse par exemple de l'ordre de 0,1g (0,07g pour un galet tubulaire PEEK) c'est à dire moins de 3g pour un ensemble de vingt-six galets tubulaires PEEK, et ceci sans surpoids pour les chemins de roulements puisque ceux-ci peuvent être directement usinés dans les pièces. Cette construction où les éléments roulants déformables 37 sont des galets creux en polymère permet donc de réaliser un motoréducteur 1 particulièrement léger.
- [0126] Selon un autre exemple, les éléments roulants déformables 37 sont des galets tubulaires métalliques. Les parois tubulaires sont alors plus fines car les modules d'élasticité sont nettement plus élevés qu'avec des matériaux polymères. Ces éléments roulants déformables 37 sont par exemple en alliage de cuivre (laiton ou bronze) ou en alliage d'aluminium ou en alliage de titane ou en acier. Cependant, on prévoit alors de préférence des revêtements ou traitements de surface des chemins de roulements et/ou des éléments roulants déformables et une lubrification, pour éviter tout problème d'usure par corrosion de contact (« fretting corrosion » en anglais) liés aux interfaces de contact métal-métal.

- [0127] Bien que l'invention ait été décrite en référence à un dispositif d'assistance électrique pour cycle, l'invention s'applique également à tout appareil comprenant un dispositif d'assistance électrique comportant un motoréducteur, comme un exosquelette, un dispositif électroportatif ou un bras de robotisation.
- [0128] De plus, le dispositif de transmission de couple 200 peut être utilisé dans d'autres types de motoréducteurs ou d'autres ensembles mécaniques requérant une transmission de couple entre deux éléments pouvant présenter un défaut de coaxialité.

Revendications

[Revendication 1]

Dispositif de transmission de couple (200) comprenant :

- une rondelle d'entrée (203a) s'étendant dans un plan perpendiculaire à un axe central d'entrée (X1),
- une rondelle de sortie (203c) s'étendant dans un plan perpendiculaire à un axe central de sortie (X3),
- une rondelle intermédiaire (203b) disposée entre la rondelle d'entrée (203a) et la rondelle de sortie (203c) et s'étendant dans un plan perpendiculaire à un axe central intermédiaire (X2),
- une première paire de maillons (205a, 205b) couplés d'un premier côté à la rondelle d'entrée (203a) et d'un deuxième côté, opposé au premier côté, à la rondelle intermédiaire (203b), les maillons (205a, 205b) de la première paire étant disposés de manière diamétralement opposée par rapport à l'axe central intermédiaire (X2),
- une deuxième paire de maillons (207a, 207b) couplés d'un premier côté à la rondelle intermédiaire (203b) et d'un deuxième côté, opposé au premier côté, à la rondelle de sortie (203c), les maillons (207a, 207b) de la deuxième paire étant disposés de manière diamétralement opposée par rapport à l'axe central intermédiaire (X2) de la rondelle intermédiaire (203b),

les deux paires de maillons (205a, 205b et 207a, 207b) étant alignées suivant deux directions respectives (d1, d2) perpendiculaires entre elles de manière à permettre une transmission de couple même en l'absence de coaxialité entre l'axe central d'entrée (X1) et l'axe central de sortie (X3) dans lequel la rondelle intermédiaire (203b) comprend une collerette (209) s'étendant axialement de part et d'autre du centre de la rondelle intermédiaire (203b) pour former une section en T afin d'éviter une ovalisation de ladite rondelle intermédiaire (203b) lorsque le dispositif de transmission de couple (200) est en charge.

[Revendication 2]

Dispositif de transmission de couple (200) selon la revendication précédente dans lequel la rondelle d'entrée (203a) comprend deux axes de transmission (231, 232) s'étendant parallèlement à l'axe central d'entrée (X1) et reçus dans deux premiers trous respectifs associés à une première extrémité des maillons (205a, 205b) respectifs de la première paire, la rondelle intermédiaire (203b) comprenant deux premiers axes (235, 236) de transmission s'étendant parallèlement à son axe central (X2), disposés sur une première face de la rondelle intermédiaire (203b)

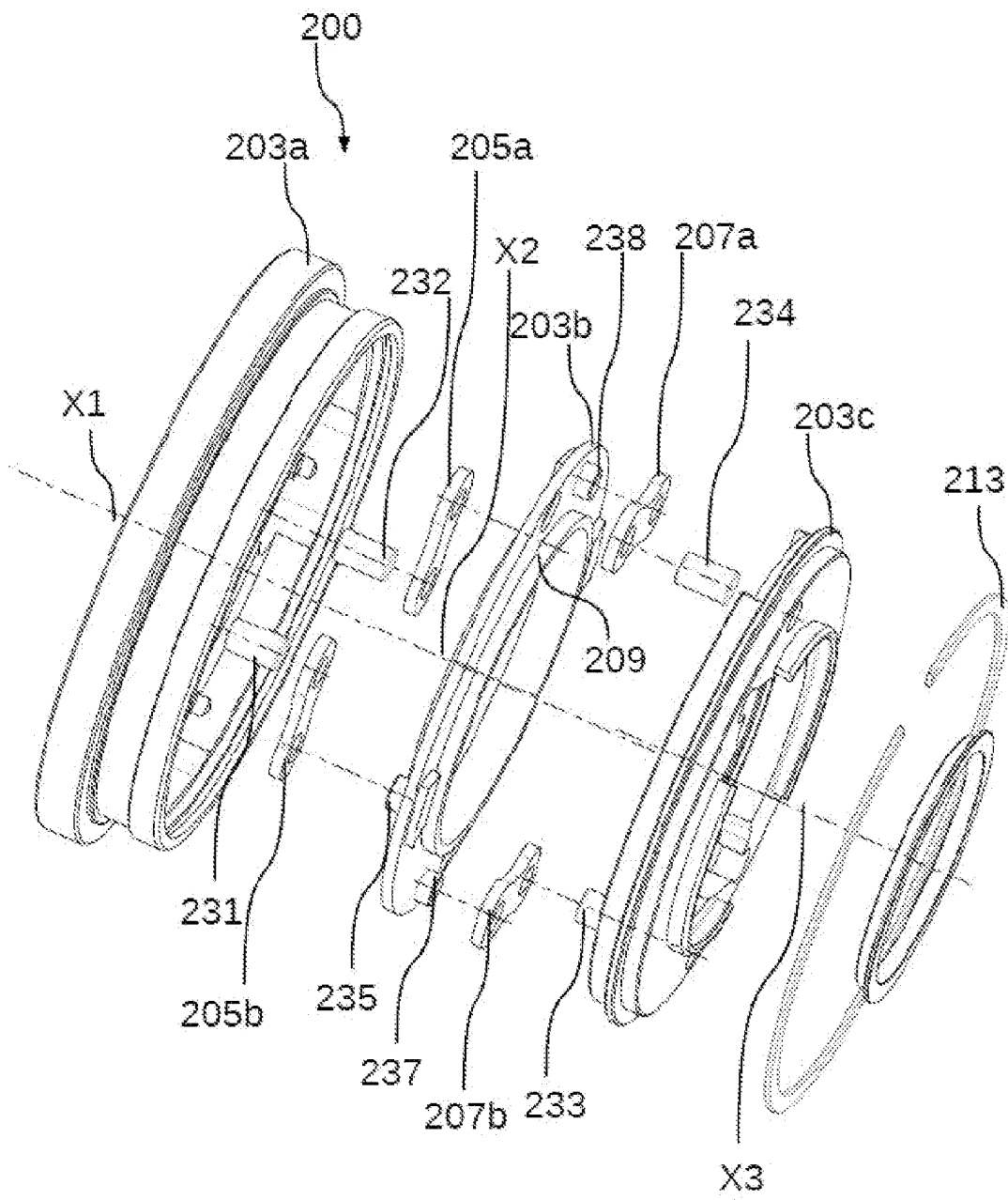
et reçus dans deux deuxièmes trous respectifs associés à une deuxième extrémité des maillons (205a, 205b) respectifs de la première paire, et deux deuxièmes axes de transmission (237, 238) s'étendant parallèlement à son axe central (X2), disposés sur une deuxième face de la rondelle intermédiaire (203b) et reçus dans deux premiers trous respectifs associés au premier côté des maillons (207a, 207b) respectifs de la deuxième paire, la rondelle de sortie (203c) comprenant deux axes de transmission (233, 234) s'étendant parallèlement à l'axe central de sortie (X3) et reçus dans deux deuxièmes trous respectifs associés au deuxième côté des maillons (207a, 207b) respectifs de la deuxième paire.

- [Revendication 3] Dispositif de transmission de couple (200) selon la revendication précédente dans lequel les maillons (205a, 205b) de la première paire sont montés rotatifs d'une part avec les axes de transmission (231, 232) de la rondelle d'entrée (203a) et d'autre part avec les premiers axes de transmission (235, 236) de la rondelle intermédiaire (203b) et les maillons (207a, 207b) de la deuxième paire sont montés rotatifs d'une part avec les deuxièmes axes de transmission (237, 238) de la rondelle intermédiaire (203b) et d'autre part avec les axes de transmission (233, 234) de la rondelle de sortie (203c).
- [Revendication 4] Dispositif de transmission de couple (200) selon l'une des revendications précédentes dans lequel les premiers (235, 236) et deuxièmes (237, 238) axes de transmission de la rondelle intermédiaire (203b) sont disposés de sorte que les maillons (205a, 205b, 207a, 207b) de la première et de la deuxième paires travaillent en traction dans un premier sens de transmission de couple et en compression dans un deuxième sens de transmission de couple, opposé au premier sens de transmission de couple.
- [Revendication 5] Dispositif de transmission de couple (200) selon l'une des revendications 1 à 3 dans lequel les premiers (235, 236) et deuxièmes (237, 238) axes de transmission de la rondelle intermédiaire (203b) sont disposés de sorte que pour la première (205a, 205b) et la deuxième (207a, 207b) paires maillons, un premier maillon (205a, 207a) de la paire travaille en traction et un deuxième maillon (205b, 207b) de la paire travaille en compression lorsqu'un couple est transmis.
- [Revendication 6] Dispositif de transmission de couple (200) selon l'une des revendications précédentes dans lequel les maillons (205a, 205b, 207a, 207b) sont des maillons de chaîne standards.

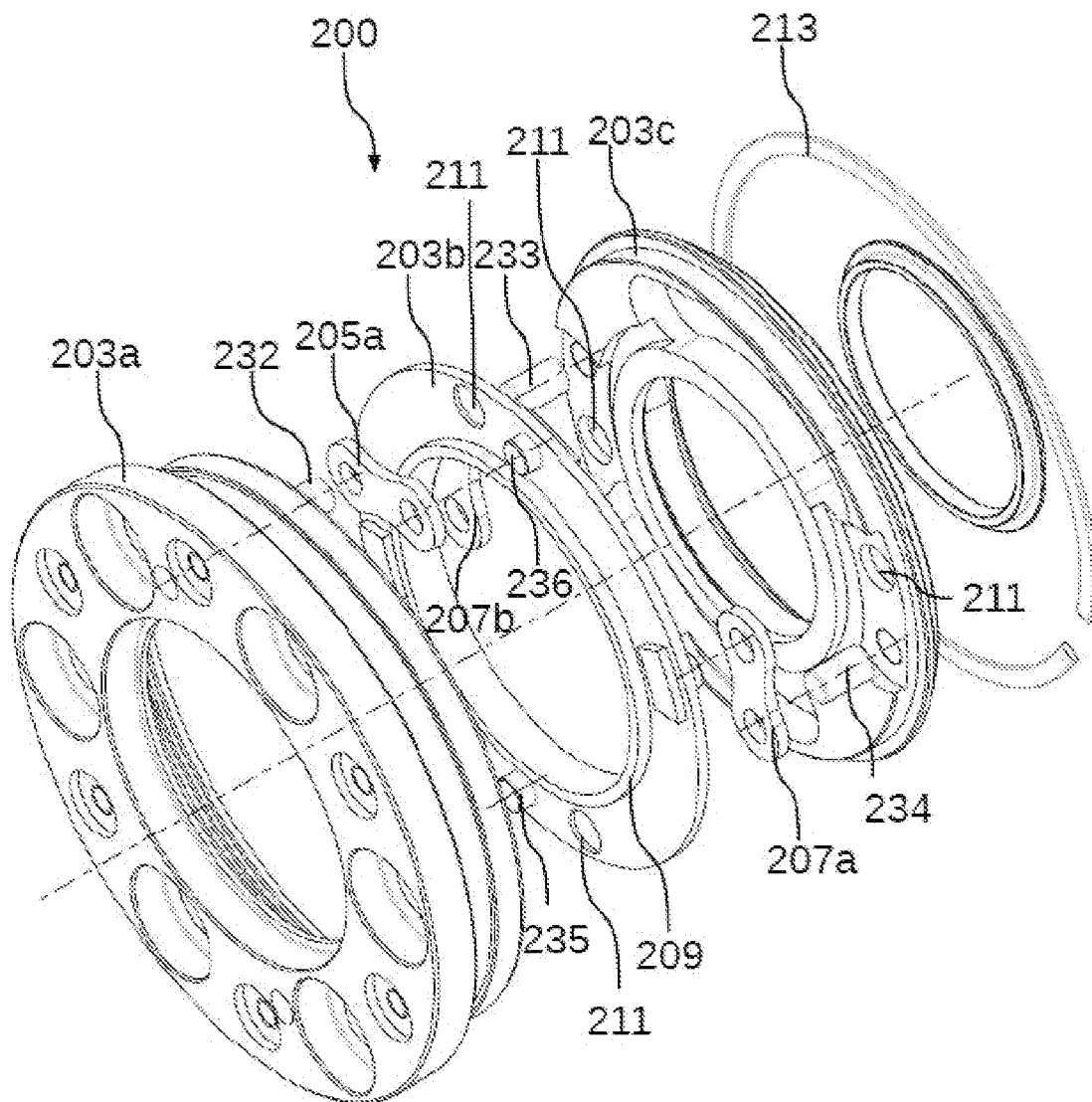
- [Revendication 7] Dispositif de transmission de couple (200) selon l'une des revendications précédentes dans lequel les maillons (205a, 205b, 207a, 207b) sont disposés dans l'épaisseur formée par la collerette (209) de la rondelle intermédiaire (203b).
- [Revendication 8] Dispositif de transmission de couple (200) selon l'une des revendications précédentes dans lequel les axes de transmission (231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238) sont en saillie par rapport aux maillons (205a, 205b, 207a, 207b) et des lamages sont ménagés dans la rondelle d'entrée (203a), la rondelle intermédiaire (203b) et la rondelle de sortie (203c) en regard des axes de transmissions associés à une rondelle adjacente pour permettre la saillie des axes de transmission (231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238).
- [Revendication 9] Dispositif d'assistance électrique (101), notamment pour cycle, comprenant :
- un moteur électrique (3) comprenant un arbre de sortie (5) et configuré pour être monté autour d'un axe central (103),
 - un réducteur (2) configuré pour être monté autour de l'axe central (103),
 - une roue libre (25) configuré pour être monté autour de l'axe central (103),
 - un dispositif de transmission de couple (200) selon l'une de revendications précédentes configuré pour être monté autour de l'axe central (103),
- le réducteur (2), la roue libre (25) et le dispositif de transmission de couple (200) formant une chaîne de transmission de couple entre l'arbre de sortie (5) du moteur électrique (3) et un axe de sortie (26) du dispositif d'assistance électrique (101).
- [Revendication 10] Dispositif d'assistance électrique (101) selon la revendication précédente dans lequel le réducteur (2) comprend une entrée (5) configurée pour être couplée en rotation à l'arbre de sortie (5) du moteur électrique (3) et une sortie (11) configurée pour être couplée en rotation à la rondelle d'entrée (203a) du dispositif de transmission de couple (200).
- [Revendication 11] Dispositif d'assistance électrique (101) selon l'une des revendications 9 ou 10 dans lequel la roue libre (25) comprend une entrée configurée pour être couplée en rotation à la rondelle de sortie (203c) du dispositif de transmission de couple (200) et une sortie configurée pour être couplée en rotation à l'axe de sortie (26) du dispositif d'assistance

- électrique (101).
- [Revendication 12] Dispositif d'assistance électrique (101) selon l'une des revendications 9 à 11 dans lequel l'axe central (103) de pédalier du cycle est maintenu en position par une unique paire de roulements disposée entre un cadre (100) du cycle et l'axe central (103) de pédalier.
- [Revendication 13] Dispositif d'assistance électrique (101) selon l'une des revendications 9 à 12 dans lequel le moteur électrique (3), le réducteur (2), le dispositif de transmission de couple (200) et la roue libre (25) sont configurés pour être disposés de manière adjacente le long de l'axe central de pédalier (103).
- [Revendication 14] Cycle comprenant un cadre (100), un axe central de pédalier (103) monté rotatif sur le cadre (100) et un dispositif d'assistance électrique (101) selon l'une des revendications 9 à 13.
- [Revendication 15] Cycle selon la revendication précédente dans lequel le moteur électrique (3) et le réducteur (2) sont montés sur le cadre (100) de manière indépendante à l'axe central de pédalier (103).

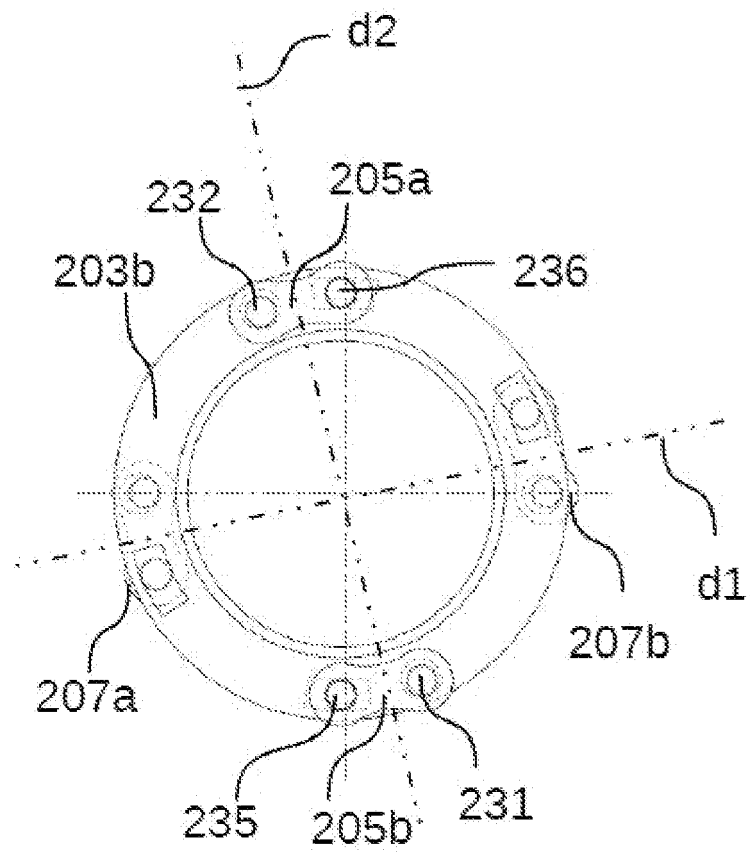
[Fig. 1]



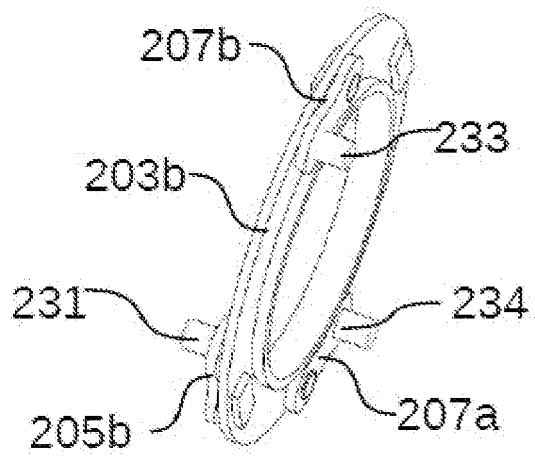
[Fig. 2]



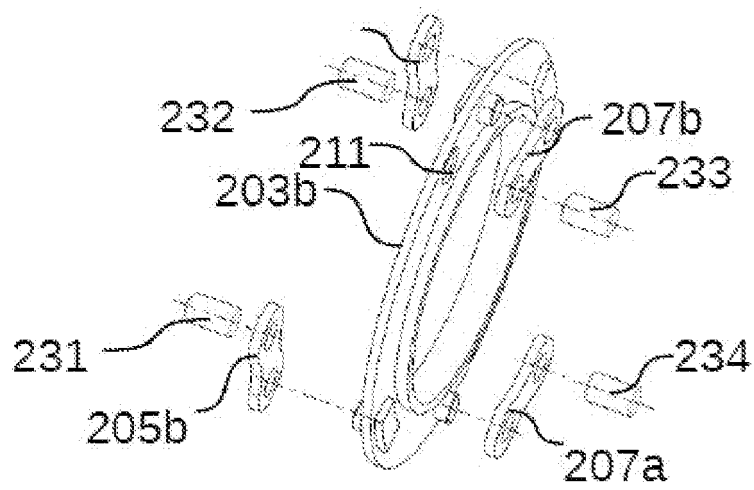
[Fig. 3a]



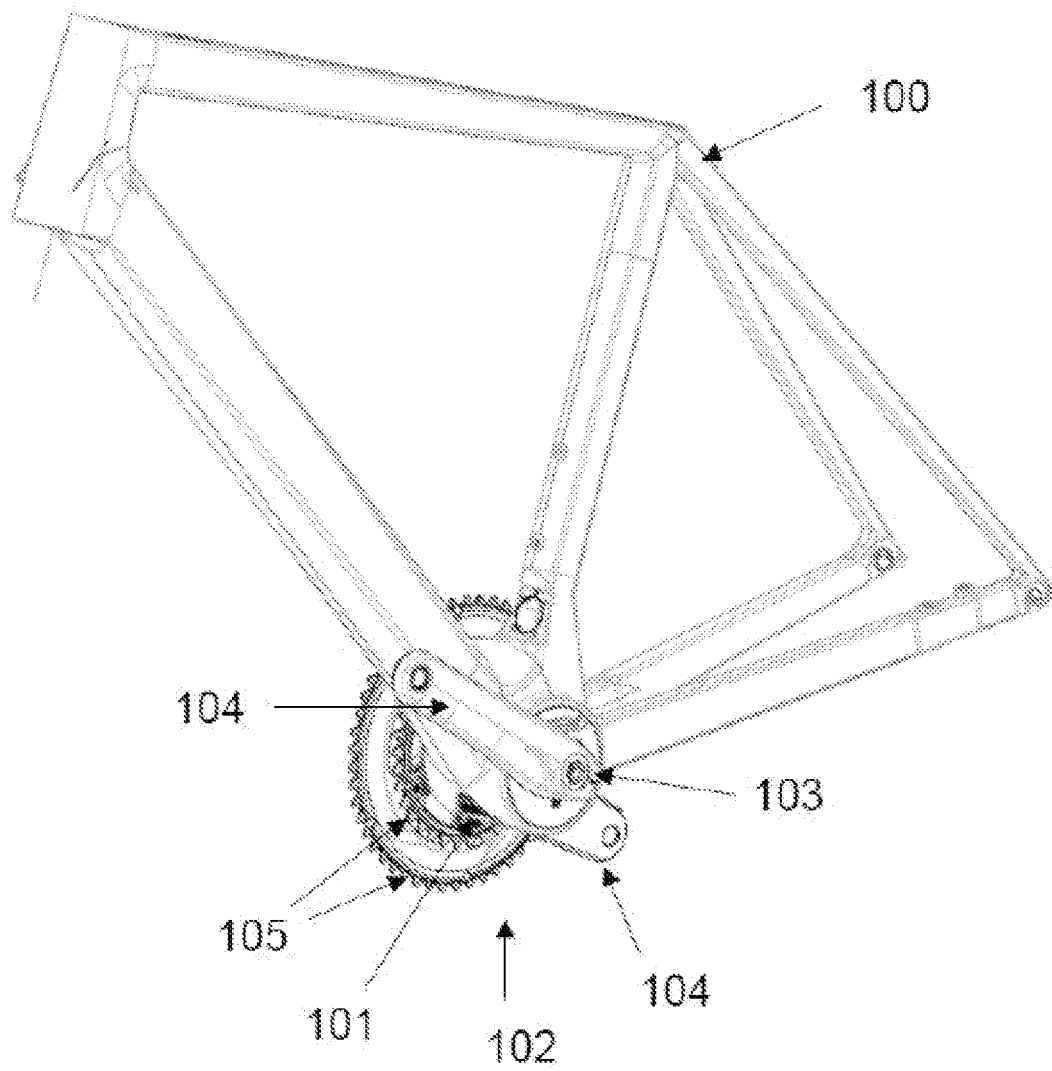
[Fig. 3b]



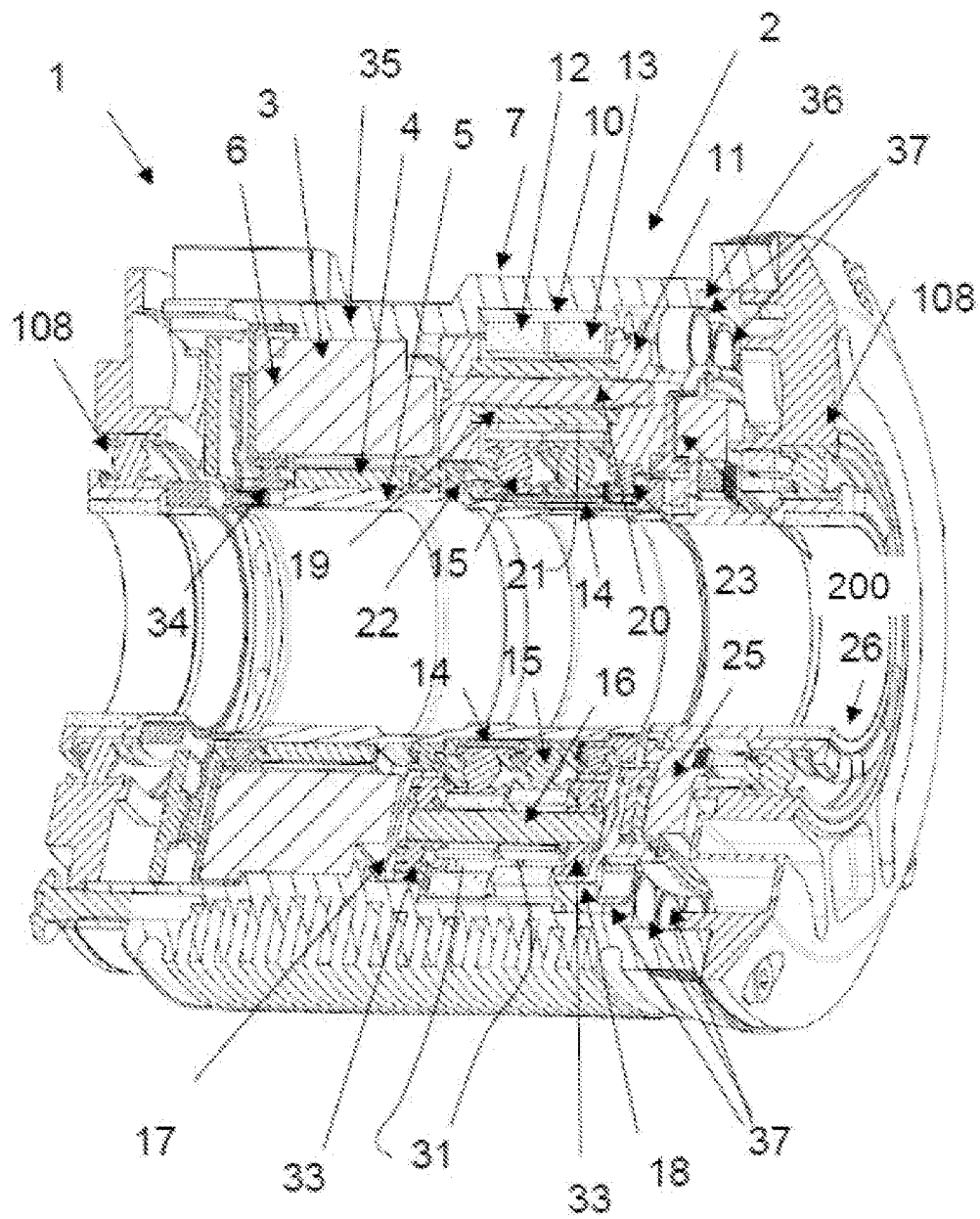
[Fig. 3c]



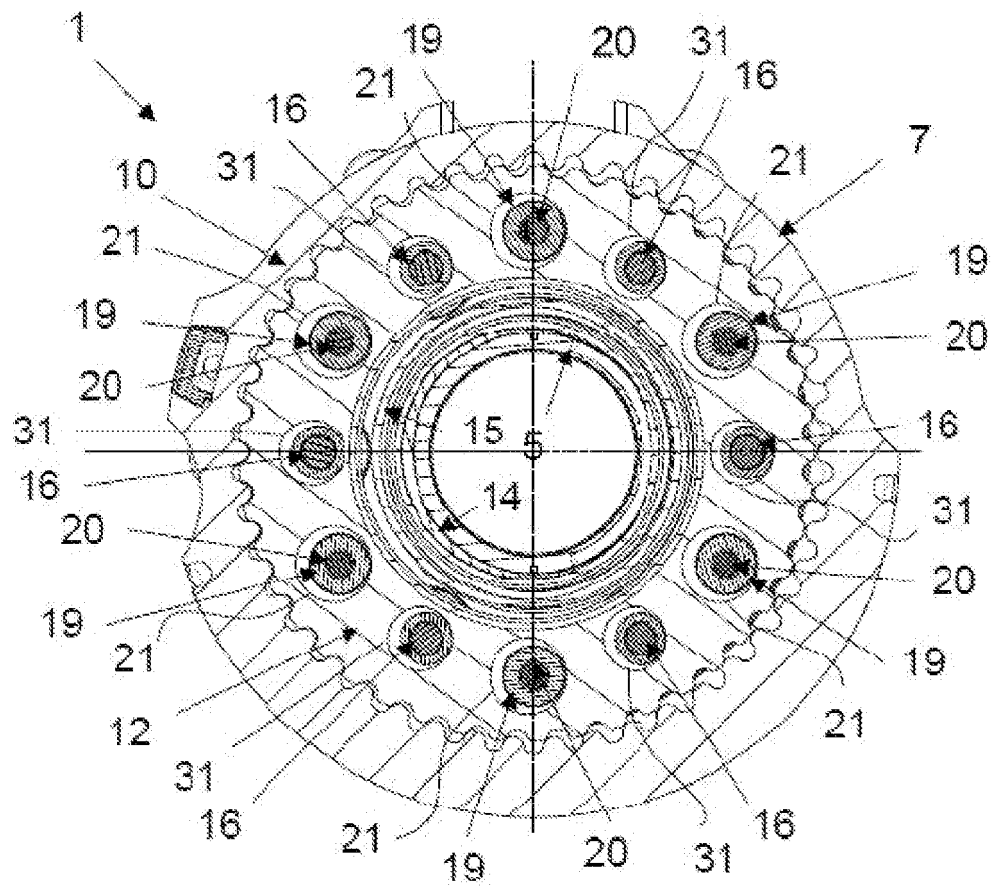
[Fig. 4]



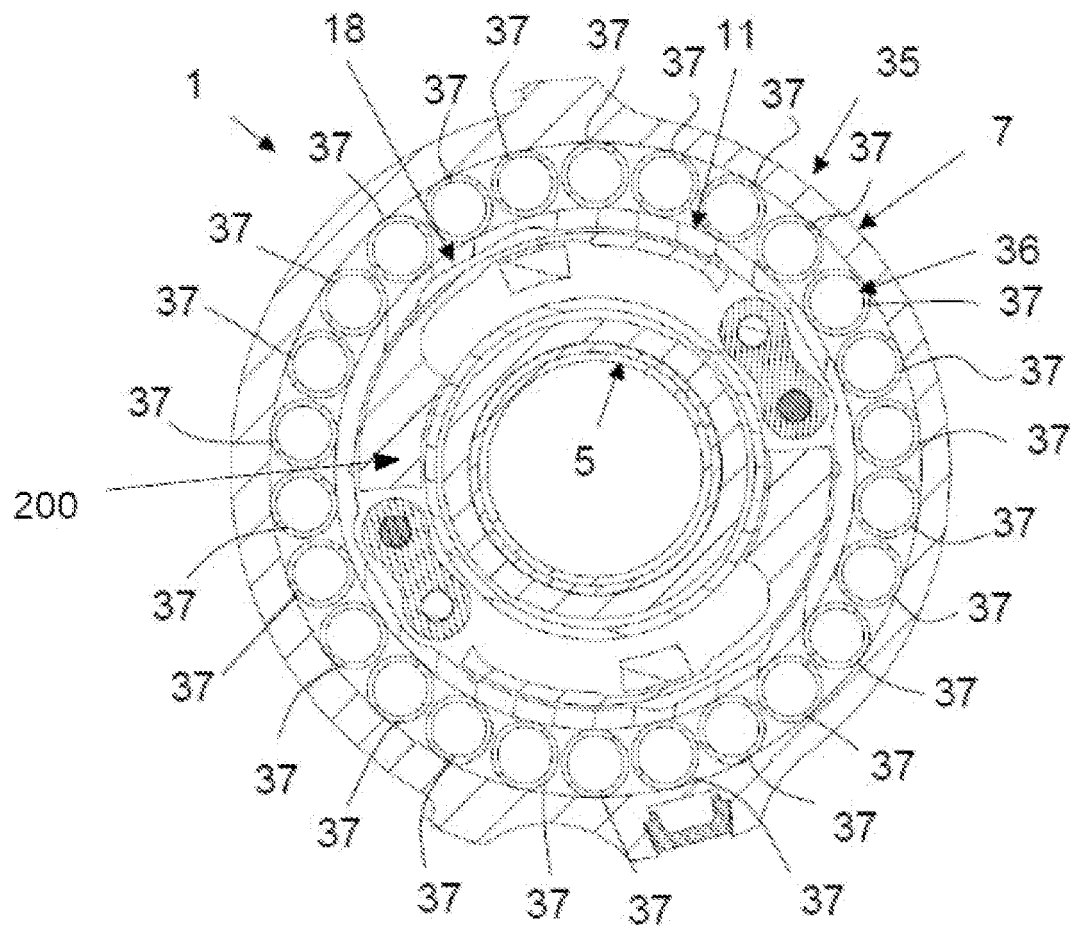
[Fig. 6]



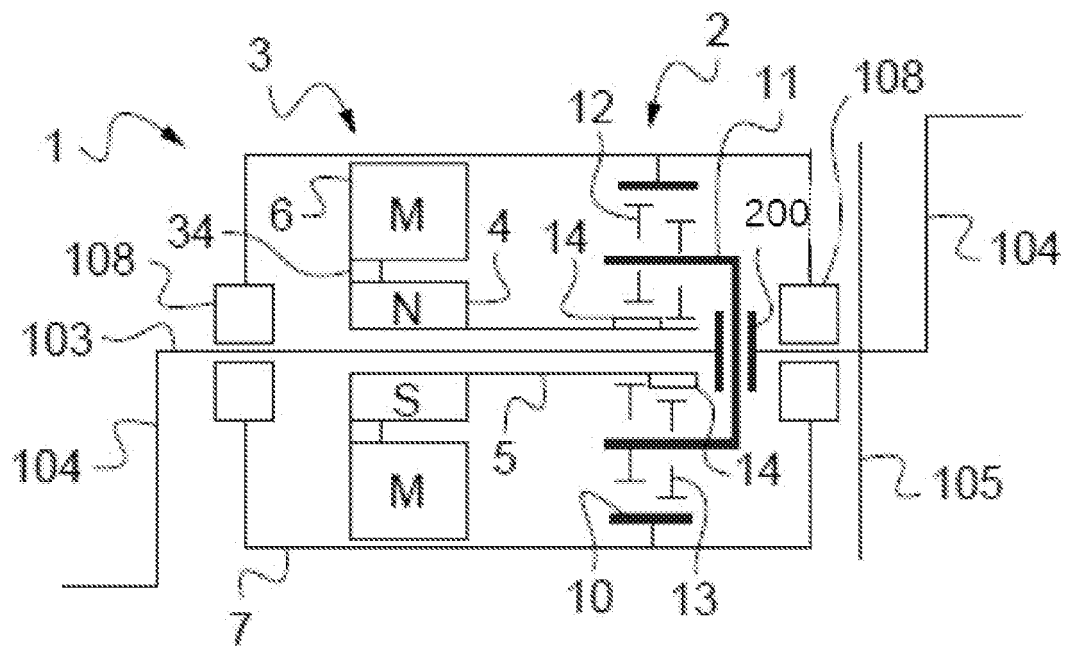
[Fig. 7]



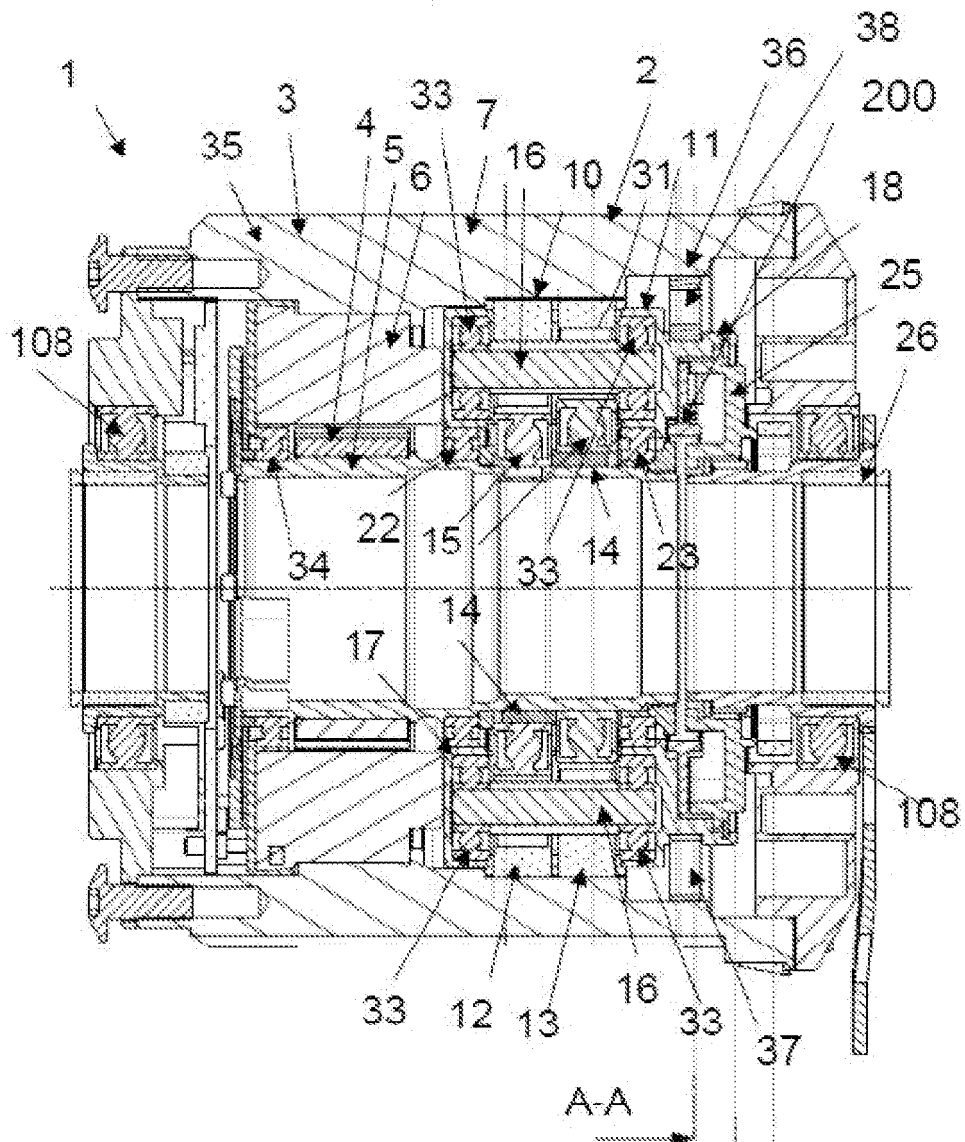
[Fig. 8]



[Fig. 9]



[Fig. 10]



[Fig. 11]

