

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102011901993163A1

Publication Date

20130503

Applicant

AVIO S.P.A.

Title

ROTISMO EPICICLOIDALE.

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"ROTISMO EPICICLOIDALE"

di AVIO S.P.A.

di nazionalità italiana

con sede: STRADA DEL DROSSO 145

TORINO (TO)

Inventori: CURTI Edoardo, GRAVINA Michele, ZAGATO Giulio,
RONCHIATO Luca

La presente invenzione è relativa ad un rotismo epicicloidale.

Com'è noto, i rotismi epicicloidali sono in grado di trasmettere il moto tra alberi coassiali, rotanti a velocità diverse, e sono molto efficaci nel realizzare tale funzione mantenendo peso ed ingombri contenuti.

In alcune applicazioni, particolare importanza riveste la riduzione dell'ingombro esterno del rotismo epicicloidale in direzione radiale, rispetto all'asse dei due suddetti alberi. Ad esempio, nel settore della propulsione aeronautica, in particolare nelle nuove architetture di motori allo studio per la riduzione dei consumi e dell'inquinamento (quali architetture "Geared Turbofan" e "Open Rotor"), i rotismi epicicloidali sono utilizzati per trasmettere l'intera potenza generata dalla

turbomacchina al sistema di propulsione. In tali applicazioni il rotismo epicicloidale è integrato con la turbomacchina, diversamente da quanto avviene ad esempio nei motori turboelica, con la conseguenza che il suo involuppo diametrico potrebbe condizionare le geometrie dei canali di passaggio dei flussi d'aria o di gas combusti, e quindi penalizzare il rendimento della turbomacchina stessa.

Uno degli elementi essenziali per determinare le dimensioni del rotismo epicicloidale in direzione radiale è costituito dai cuscinetti dei satelliti. In particolare, nel settore dei motori aeronautici l'attenzione è stata rivolta di recente alla sostituzione dei cuscinetti volventi con cuscinetti a strisciamento o bronzine, per accoppiare i satelliti alla struttura porta-satelliti o porta-treno.

Le configurazioni note nel settore dei motori aeronautici non solo utilizzano satelliti supportati da cuscinetti a strisciamento, ma anche satelliti con dentature bi-elicoidali. Soluzioni di questo tipo hanno alcune criticità:

- le dentature bi-elicoidali non possono essere separate nel loro ingranamento, per cui il rotismo con la sua scatola deve essere montato nel motore come un unico componente;

- per montare la scatola del rotismo è necessario realizzare accoppiamenti scanalati con diametri molto piccoli e, in quanto tali, facilmente soggetti a usura;
- l'architettura della struttura porta-treno è relativamente complessa per minimizzare i disallineamenti tra i satelliti sotto carico e la sensibilità agli errori costruttivi;
- i cuscinetti a strisciamento hanno una scarsissima tolleranza alla contaminazione e possono dare luogo a rottura catastrofiche e pressoché istantanee;
- è necessaria una alimentazione di lubrificante di sicurezza per prevenire il danneggiamento dei cuscinetti a strisciamento in assenza di funzionamento del sistema di lubrificazione principale (ad esempio durante lo stazionamento sulla pista di decollo in presenza di vento o in caso di guasto), con il conseguente aggravio di peso e complessità del motore.

Altre soluzioni, note nel settore delle turbine eoliche, mantengono i cuscinetti di tipo volvente, ma per ridurre le dimensioni dei satelliti, ne utilizzano due schiere, invece di una sola, disposte da parti opposte di una piastra anulare. In particolare, i satelliti sono montati tramite i suddetti cuscinetti volventi su rispettivi perni, i quali si estendono a sbalzo

parallelamente all'asse del rotismo rispetto alla piastra.

La coppia di rotazione viene trasmessa tra la piastra e un organo rotante di trasmissione tramite elementi di collegamento che sono sostanzialmente paralleli all'asse del rotismo, sono denominati generalmente "tenoni", e sono fissi rispetto alla piastra.

Un esempio di questo tipo di realizzazione è visibile in WO2002/079644.

In condizioni ideali, questo sistema bilancia i momenti flettenti tra le due schiere di satelliti e permette di scaricare sulla piastra solamente un carico a taglio. Tuttavia, in pratica, il collegamento rigido tra i tenoni e la piastra tende a fare flettere la piastra durante il funzionamento.

Tale flessione ha l'effetto di fare inclinare gli assi dei perni che supportano i satelliti, per cui nasce un indesiderato sbilanciamento tra i carichi sui satelliti tra l'una e l'altra delle due schiere e nasce una indesiderata sollecitazione di reazione nella zona di raccordo tra i perni e la piastra.

Per ovviare agli effetti provocati dalla flessione della piastra, il suo spessore potrebbe essere incrementato. Tuttavia, è preferibile non superare certi limiti di spessore, in quanto una dimensione assiale della piastra troppo grande renderebbe il funzionamento

particolarmente sensibile agli errori costruttivi (in particolare agli errori di posizionamento dei satelliti, che si traducono nuovamente in sovraccarichi significativi sui satelliti stessi).

La soluzione più diffusa per mitigare lo sbilanciamento dei carichi sui satelliti è l'adozione di una configurazione denominata "flex pin", in cui i perni che supportano i satelliti hanno la capacità di flettersi in modo localizzato per compensare in modo automatico gli effetti della flessione della piastra.

Scopo della presente invenzione è di fornire un rotismo epicicloidale che consenta di risolvere i problemi sopra esposti in modo semplice ed economico tramite una soluzione che possa essere utilizzata in aggiunta o in alternativa alla configurazione "flex pin", ed in modo da mantenere comunque piccolo lo spessore della piastra a cui sono fissati i perni che supportano i satelliti, ottenendo quindi una significativa riduzione di peso.

L'invenzione verrà ora descritta con riferimento ai disegni annessi, che ne illustrano un esempio di attuazione non limitativo, in cui:

- la figura 1 illustra, in sezione trasversale, una preferita forma di attuazione del rotismo epicicloidale secondo la presente invenzione;
- la figura 2 è analoga alla figura 1 e mostra, con

- parti asportate per chiarezza, una variante del rotismo epicicloidale della figura 1;
- le figure 3 e 4 sono prospettive che mostrano, rispettivamente, due componenti di una struttura porta-satelliti del rotismo epicicloidale della figura 1;
 - la figura 5 è una vista frontale della struttura porta-satelliti della figura 1; e
 - la figura 6 mostra, in sezione trasversale, un dettaglio relativo ad una ulteriore variante del rotismo epicicloidale della figura 1.

Con riferimento alla figura 1, con 1 è indicato, nel suo complesso, un rotismo epicicloidale comprendente una pluralità di satelliti 2, i quali sono disposti attorno ad un asse 3, ruotano attorno a rispettivi assi 4, paralleli ed eccentrici rispetto all'asse 3, sono supportati da una struttura 5 porta-satelliti o porta-treno, ed ingranano, verso l'esterno, con una corona dentata 6 e, verso l'interno, con una ruota solare 7. Preferibilmente, gli assi 4 sono angolarmente equi-distanziati l'uno rispetto all'altro attorno all'asse 3.

Con riferimento alle figure 1 e 3, la struttura 5 comprende un corpo di attacco 8, il quale termina assialmente con una porzione 9 definente un accoppiamento per collegare il rotismo 1 in modo angolarmente fisso ad un

organo rotante non illustrato, ad esempio ad un albero di uscita del moto. Nel particolare esempio illustrato, la porzione 9 è tubolare, per essere calzata attorno a tale albero, e definisce internamente un accoppiamento scanalato 10. In alternativa all'accoppiamento scanalato, il corpo di attacco 8 può avere un accoppiamento flangiato o altra tipologia di accoppiamento.

Il corpo di attacco 8 comprende, inoltre, una porzione 11 intermedia, conformata a campana, e termina con una pluralità di porzioni a dito 12, le quali sono raccordate alla porzione 11, si estendono a sbalzo in direzioni sostanzialmente parallele all'asse 3 e sono disposte in posizioni angolari intermedie tra gli assi 4.

Con riferimento alle figure 1 e 4, la struttura 5 comprende, inoltre, un unico anello 15, il quale è coassiale al corpo di attacco 8 lungo l'asse 3 e ha una pluralità di settori a piastra 16. I settori a piastra 16 si estendono in un piano ortogonale all'asse 3, sono definiti da pareti sottili, ossia con uno spessore inferiore a 10 mm (tipicamente uno spessore di 5-7 mm), e sono intercalati angularmente a dispositivi di collegamento 18, i quali accoppiano l'anello 15 alle porzioni a dito 12, come meglio verrà spiegato nel seguito.

L'anello 15 comprende, per ciascun satellite 2, un relativo mozzo o perno 19, il quale è preferibilmente

realizzato di pezzo con un corrispondente settore a piastra 16, si estende a sbalzo lungo l'asse 4 ed è raccordato a tale settore a piastra 16 tramite un risalto o scalino 20. Lo scalino 20 definisce uno spallamento 21 assiale contro cui è appoggiato l'anello 22 interno di un cuscinetto 23 volvente. Come mostrato in figura 1, l'anello 22 è accoppiato alla superficie cilindrica 24 esterna del perno 19, mentre il cuscinetto 23 è preferibilmente privo dell'anello esterno: in altre parole, la pista di rotolamento esterna dei corpi volventi 25 è definita da una superficie interna 26 del satellite 2. Preferibilmente, i corpi volventi 25 sono rulli a botte, per cui le piste di rotolamento sono sferiche e quindi in grado di disaccoppiare la dentatura del satellite dalle deformazioni sotto carico dei perni 19.

I perni 19 sono disposti su entrambe le facce dei settori a piastra 16 e sono contrapposti lungo gli assi 4 in modo da supportare due schiere 2a,2b di satelliti, le quali sono simmetriche rispetto al piano di giacitura dei settori a piastra 16. Nell'esempio illustrato, ciascuna delle due schiere 2a,2b comprende tre satelliti 2, ma la soluzione proposta è compatibile con qualsivoglia numero di satelliti.

Ancora con riferimento alla figura 1, preferibilmente ciascuna coppia di perni 19 coassiali definisce un

passaggio 28 assiale impegnato da dispositivi di collegamento (non illustrati), i quali bloccano gli anelli 22 interni dei cuscinetti 23 rispettivamente contro gli spallamenti 21.

Preferibilmente, le dentature dei satelliti 2 sono cilindriche a denti diritti.

Tornando ora ai dispositivi di collegamento 18 mostrati nelle figure 1 e 5, ciascuno di essi trasferisce le azioni di taglio (forze tangenziali) e quindi la coppia tra l'anello 15 ed il corpo di attacco 8, ma definisce almeno un grado di libertà che consente un movimento relativo sotto carico tra l'anello 15 e il corpo di attacco 8, in modo da evitare momenti flettenti dal corpo di attacco 8 all'anello 15 e quindi evitare flessioni sui settori a piastra 16.

Ciascuno dispositivo di collegamento 18 è disposto angularmente tra due assi 4 adiacenti. Pertanto, il numero dei dispositivi di collegamento 18 è pari al numero di satelliti 2 presenti in ciascuna schiera 2a,2b. Ciascun dispositivo di collegamento 18 comprende un dispositivo di articolazione 30, ossia un dispositivo che consente uno snodo o rotazione relativa tra la porzione a dito 12 e l'anello 15, convenientemente attorno ad un asse 32 che è radiale rispetto all'asse 3.

Nell'esempio mostrato, ciascun dispositivo di

articolazione 30 è definito da un relativa cerniera cilindrica, comprendente un perno di cerniera 33, che si estende lungo l'asse 32 e ha una porzione 34 intermedia impegnante un foro 35 realizzato nell'estremità 36 della porzione a dito 12. Il perno di cerniera 33 termina con due porzioni 37 opposte, che impegnano rispettivi fori 38 realizzati in pareti 39 facenti parte dell'anello 15. Le pareti 39 sono preferibilmente disposte a prolungamento del bordo interno e del bordo esterno dei settori a piastra 16, sono sostanzialmente ortogonali all'asse 32 e definiscono radialmente tra loro una sede 41 impegnata dall'estremità 36 della porzione a dito 12. In direzione tangenziale, la sede 41 è definita da pareti 42 (figura 4) distanziate dall'estremità 36 della porzione a dito 12 in modo da lasciare a quest'ultima un certo gioco e quindi libertà di rotazione attorno all'asse 32.

Preferibilmente, ciascun dispositivo di articolazione 30 comprende boccole e/o distanziali 43 (figura 1), i quali sono realizzati in materiale a basso coefficiente d'attrito, accoppiano il perno di cerniera 33 alle pareti 39 e/o all'estremità 36 della porzione a dito 12, e svolgono la funzione di protezione dello snodo o giunto dall'usura e di risultare per di più un elemento sacrificale di sicurezza in caso di guasto.

In alternativa alla cerniera, ciascun dispositivo di

articolazione 30 è definito da un relativo giunto sferico.

La figura 2 mostra una variante in cui la configurazione della ruota solare 6 e della corona 7 sono diverse, per diversi accoppiamenti ed utilizzi del rotismo 1.

Inoltre, in alternativa ai perni 19, che sono sostanzialmente rigidi e richiedono l'utilizzo di cuscinetti con rulli a botte per la compensazione delle loro deformazioni sotto carico, potrebbe essere prevista una variante come quella mostrata nella figura 6, che impiega nei perni 19a soluzioni di flessibilità locale, in particolare una configurazione di tipo "flex pin" per supportare i satelliti 2. Questa configurazione, che risulta di maggiore complessità rispetto a quelle precedentemente illustrate, consente l'uso di cuscinetti 23a non in grado di compensare autonomamente disallineamenti tra le sedi interna ed esterna di rotolamento dei corpi volventi e quindi con corpi volventi diversi dai rulli a botte. In questo caso, i satelliti 2 potrebbero avere dentature non diritte.

Da quanto sopra esposto sono evidenti i vantaggi della configurazione del rotismo 1.

Il grado di libertà definito da uno snodo tra l'anello 15 porta-satelliti e il corpo di attacco 8 previene la trasmissione di flessione all'anello 15. In altre parole,

tale snodo garantisce una sollecitazione uniforme di trazione/compressione sull'anello 15 ed elimina la flessione, che invece verrebbe indotta da collegamenti rigidi.

Pertanto, se il rotismo 1 viene confrontato con le soluzioni aventi già una piastra porta-satelliti, note in applicazioni industriali e per le turbine eoliche, non vi è alcun sbilanciamento di carico tra le due schiere 2a,2b di satelliti, in quanto l'assenza della flessione nell'anello 15 comporta spostamento relativo nullo in direzione tangenziale tra due satelliti coassiali appartenenti alle diverse schiere 2a,2b.

Il fatto di eliminare la flessione consente, poi, di realizzare l'anello 15, in particolare i settori a piastra 16 che supportano i perni 19, con uno spessore estremamente contenuto, il quale viene dimensionato solamente in base a sforzi di trazione/compressione, senza effetti di flessione.

Ciò significa avere un anello 15 con rigidezza flessionale molto bassa, in particolare in corrispondenza delle zone dove sono raccordati i perni 19. Essendo la rigidezza flessionale l'elemento determinante nella quantificazione dei sovraccarichi sui satelliti 2 in presenza di errori di fabbricazione, ne consegue che un anello 15 porta-satelliti estremamente sottile garantisce

intrinsecamente una bassa sensibilità e quindi elevata tolleranza agli errori costruttivi, senza dover necessariamente adottare soluzioni di tipo "flex-pin" per i perni 19.

In particolare, grazie all'elevata tolleranza agli errori costruttivi, il fattore di mal-ripartizione del carico ("Load Sharing Factor") tra i satelliti 2 è dell'ordine del 5% (applicazioni per turbine eoliche senza alcun accorgimento hanno un "Load Sharing Factor" superiore al 20%). Pertanto, la soluzione rivendicata ottiene un risultato che è radicalmente più performante rispetto alle soluzioni note.

Inoltre, il rotismo ha un peso contenuto, grazie al fatto che le dentature dei satelliti 2 non devono fare fronte a sovraccarichi, e grazie allo spessore ridotto dell'anello 15 in corrispondenza dei settori a piastra 16.

Rispetto alle soluzioni note per le applicazioni aeronautiche, che normalmente utilizzano cuscinetti a strisciamento, i cuscinetti 23 di tipo volvente sono intrinsecamente più resistenti alla contaminazione e hanno modalità di rottura che sono più lente e, nella maggior parte dei casi, sono riconoscibili dai comuni sistemi di bordo del motore aeronautico. Pertanto, si hanno vantaggi in termini di sicurezza e l'assenza di sistemi ridondati di alimentazione di lubrificante. Il fatto di eliminare

l'anello esterno dei cuscinetti 23 consente comunque di avere una soluzione compatta in direzione radiale.

Inoltre, il numero di parti è relativamente basso, e il montaggio del rotismo 1 è facilitato grazie all'utilizzo di ingranaggi a denti diritti.

Da quanto precede appare evidente come al rotismo 1 possano essere apportate modifiche o varianti senza per questo uscire dall'ambito protettivo come definito dalle rivendicazioni allegate.

Ciascun cuscinetto 23 può avere una singola schiera di rulli (come in figura 1), oppure una doppia schiera di rulli (come in figura 6).

Il corpo di attacco 8 potrebbe essere configurato in modo da accoppiarsi ad alberi di diametro più ampio, e/o avere sistemi di accoppiamento di tipo diverso da quelli illustrati. Inoltre, il corpo di attacco 8 potrebbe essere accoppiato ad un organo rotante di ingresso del moto, e non ad un albero di uscita del moto.

Infine i settori a piastra 16 potrebbero essere contigui in modo da definire una piastra anulare continua.

R I V E N D I C A Z I O N I

1.- Rotismo epicicloidale comprendente:

- una pluralità di satelliti (2) disposti attorno ad un asse di trasmissione (3) ed in modo da formare due schiere (2a,2b), le quali sono simmetriche rispetto ad un piano ortogonale a detto asse di trasmissione (3);
- un corpo di attacco (8) comprendente mezzi di accoppiamento (10) per collegare detto rotismo epicicloidale (1) ad un organo rotante;
- un anello (15) coassiale al detto corpo di attacco (8) lungo detto asse di trasmissione (3) e comprendente:

a) almeno una porzione a piastra (16) giacente su detto piano ed avente spessore relativamente sottile, e

b) una pluralità di perni (19), i quali si estendono a sbalzo ed in sensi opposti dalla detta porzione a piastra (16) e supportano, ciascuno, un relativo detto satellite (2);

- mezzi di collegamento (18) che accoppiano detto corpo di attacco (8) a detto anello (15);

caratterizzato dal fatto che detti mezzi di collegamento (18) definiscono almeno un grado di libertà di rotazione ad asse radiale (32), in modo da consentire un movimento relativo sotto carico tra detto anello (15) e detto corpo di attacco (18).

2.- Rotismo epicicloidale secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che i detti mezzi di collegamento (18) sono costituiti da una pluralità di dispositivi di collegamento, i quali sono angolarmente distanziati tra loro e hanno, ciascuno, un relativo grado di libertà di rotazione.

3.- Rotismo epicicloidale secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che ciascun dispositivo di collegamento (18) comprende una cerniera cilindrica (30).

4.- Rotismo epicicloidale secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che ciascun dispositivo di collegamento (18) comprende un giunto sferico.

5.- Rotismo epicicloidale secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 2 a 5, caratterizzato dal fatto che il detto corpo di attacco (8) termina con una pluralità di porzioni a dito (12), le quali sono sostanzialmente parallele al detto asse di trasmissione (3), sono accoppiate al detto anello (15), ciascuna, tramite un relativo detto dispositivo di collegamento (18), e impegnano rispettive sedi (41) realizzate nel detto anello (15).

6.- Rotismo epicicloidale secondo la rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che dette sedi (41) lasciano una libertà di rotazione attorno a rispettivi assi radiali per dette porzioni a dito (12).

7.- Rotismo epicicloidale secondo la rivendicazione 6 o 7, caratterizzato dal fatto che detto anello (15) comprende tre settori a piastra (16) di spessore relativamente sottile, separati tra loro, intercalati angolarmente a dette sedi (41), e supportanti rispettive coppie di perni (19).

8.- Rotismo epicicloidale secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che i detti satelliti (2) sono accoppiati ai rispettivi detti perni (19) tramite cuscinetti volventi (23).

9.- Rotismo epicicloidale secondo la rivendicazione 8, caratterizzato dal fatto che i detti cuscinetti volventi comprendono corpi volventi definiti da rulli a botte, e piste di rotolamento esterne definite da superfici dei detti satelliti (2); i satelliti (2) avendo rispettive dentature cilindriche a denti diritti.

10.- Rotismo epicicloidale secondo la rivendicazione 8, caratterizzato dal fatto che i detti cuscinetti volventi comprendono corpi volventi diversi da rulli a botte e sono supportati da mozzi in configurazione flex-pin.

p.i.: AVIO S.P.A.

Paolo LOVINO

TITLE: EPICYCLIC GEARING

CLAIMS

1.- An epicyclic gearing comprising:

- a plurality of planet gears (2) arranged about a transmission axis (3) and so as to form two arrays (2a, 2b), which are symmetrical with respect to a plane orthogonal to said transmission axis (3);
- a fastening body (8) comprising coupling means (10) to connect said epicyclic gearing (1) to a rotating member;
- a ring (15) coaxial to said fastening body (8) along said transmission axis (3) and comprising:
 - a) at least one plate portion (16) lying on said plane and being relatively thin, and
 - b) a plurality of pins (19), which extend in cantilever fashion in opposite directions from said plate portion (16) and support respectively said planet gears (2);
- connection means (18) which couple said fastening body (8) to said ring (15);

characterised in that said connection means (18) define at least one degree of freedom in rotation about a radial axis (32), so as to allow a relative movement under load between said ring (15) and said fastening body (8).

2.- The epicyclic gearing according to claim 1, characterised in that said connection means (18) are

defined by a plurality of connection devices, which are angularly spaced from one another and have respective degree of freedom in rotation.

3.- The epicyclic gearing according to claim 3, characterised in that each connection device (18) comprises a cylindrical hinge (30).

4.- The epicyclic gearing according to claim 3, characterised in that each connection device (18) comprises a ball joint.

5.- The epicyclic gearing according to any of claims 2 to 5, characterised in that said fastening body (8) ends with a plurality of finger portions (12), which are substantially parallel to said transmission axis (3), are coupled to said ring (15) by means of respective said connection devices (18), and engage respective seats (41) made in said ring (15).

6.- The epicyclic gearing according to claim 6, characterised in that said seats (41) allow a rotation freedom about respective radial axes for said finger portions (12).

7.- The epicyclic gearing according to claim 6 or 7, characterised in that said ring (15) comprises three plate sectors (16), which are relatively thin, are separate from one another, are located angularly between said seats (41) and support respective pairs of pins (19).

8.- The epicyclic gearing according to any of the preceding claims, characterised in that said planet gears (2) are coupled to respective said pins (19) by means of rolling bearings (23).

9.- The epicyclic gearing according to claim 8, characterised in that said rolling bearings comprise rolling bodies defined by barrel-rollers, and outer rolling tracks defined by surfaces of said planet gears (2); the planet gears (2) having respective cylindrical toothing with straight teeth.

10.- The epicyclic gearing according to claim 8, characterised in that said rolling bearings comprise rolling bodies other than barrel-rollers and are supported by hubs in a flex-pin configuration.

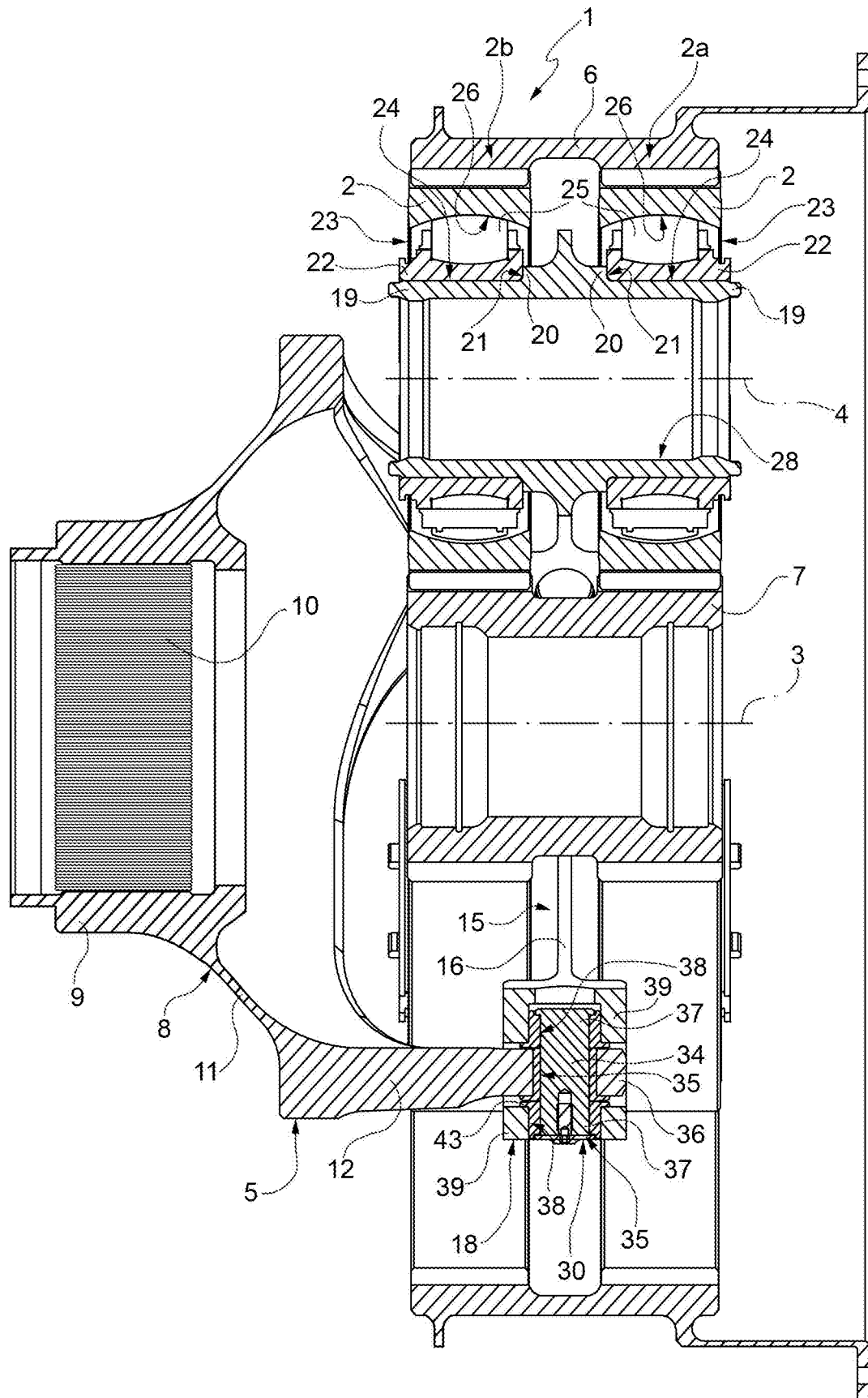


FIG. 1

p.i.: AVIO S.P.A.

Paolo LOVINO
(Iscrizione Albo nr. 999/B)

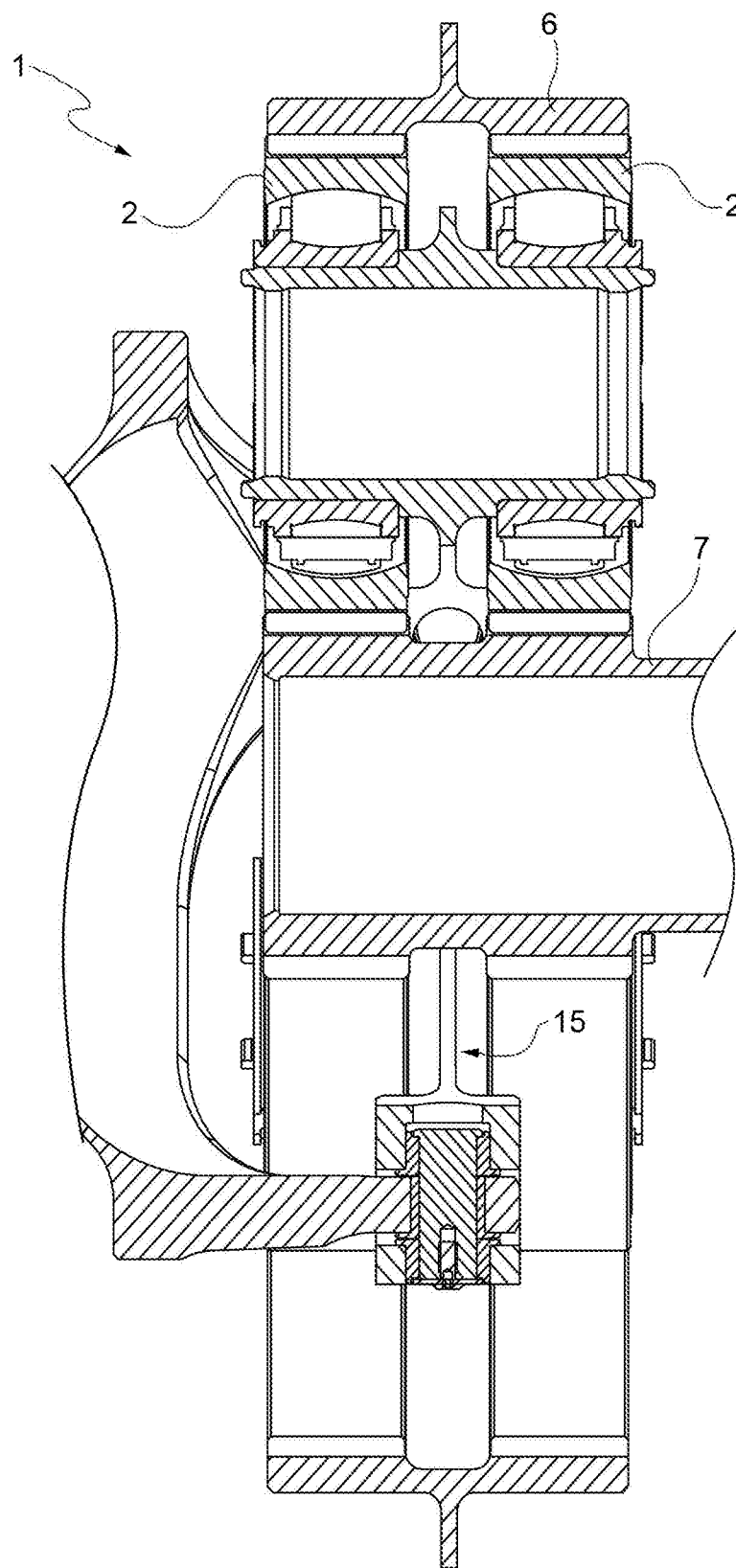


FIG. 2

p.i.: AVIO S.P.A.

Paolo LOVINO
(Iscrizione Albo nr. 999/B)

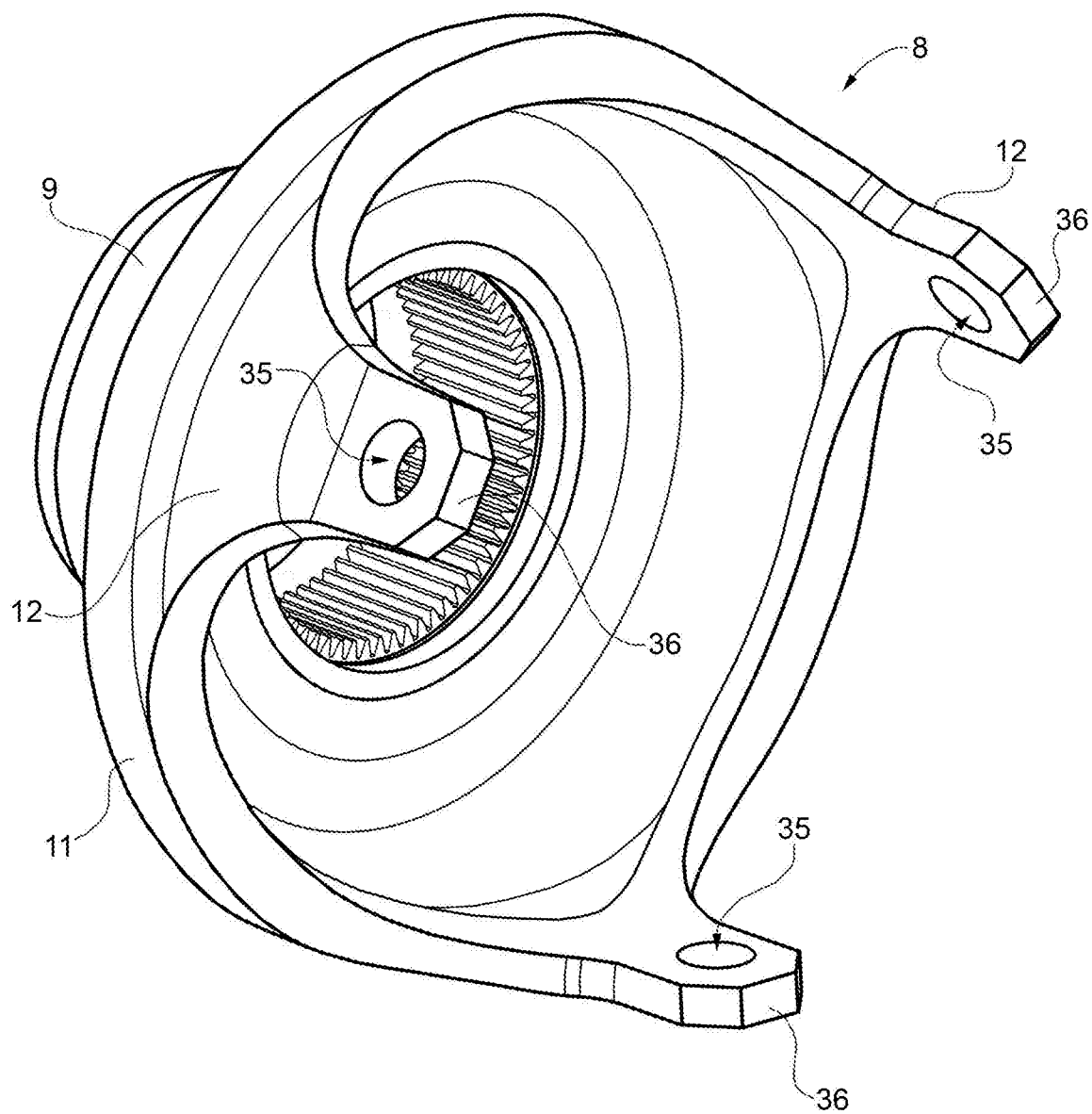


FIG. 3

p.i.: AVIO S.P.A.

Paolo LOVINO
(Iscrizione Albo nr. 999/B)

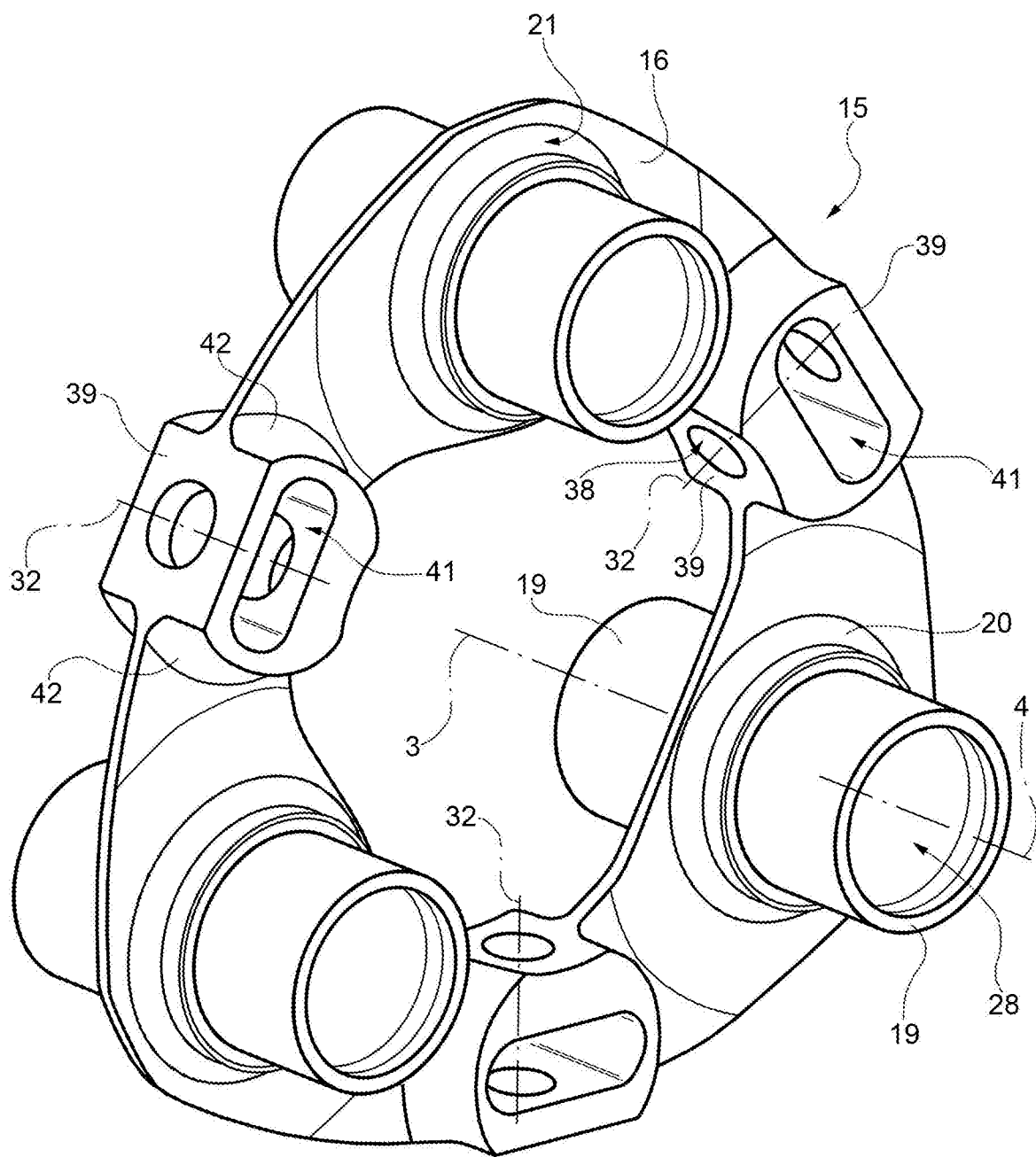


FIG. 4

p.i.: AVIO S.P.A.

Paolo LOVINO
(Iscrizione Albo nr. 999/B)

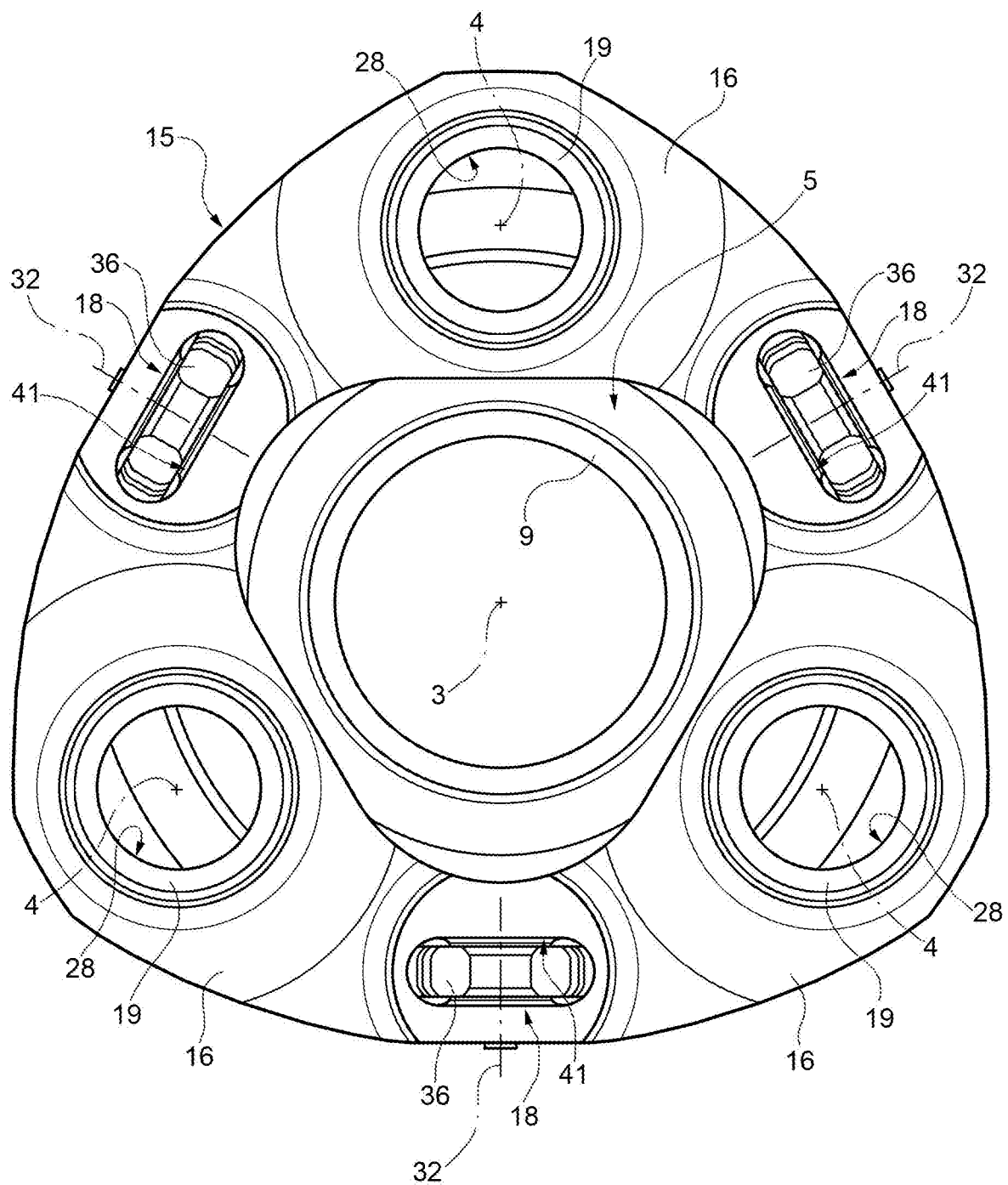


FIG. 5

p.i.: AVIO S.P.A.

Paolo LOVINO
(Iscrizione Albo nr. 999/B)

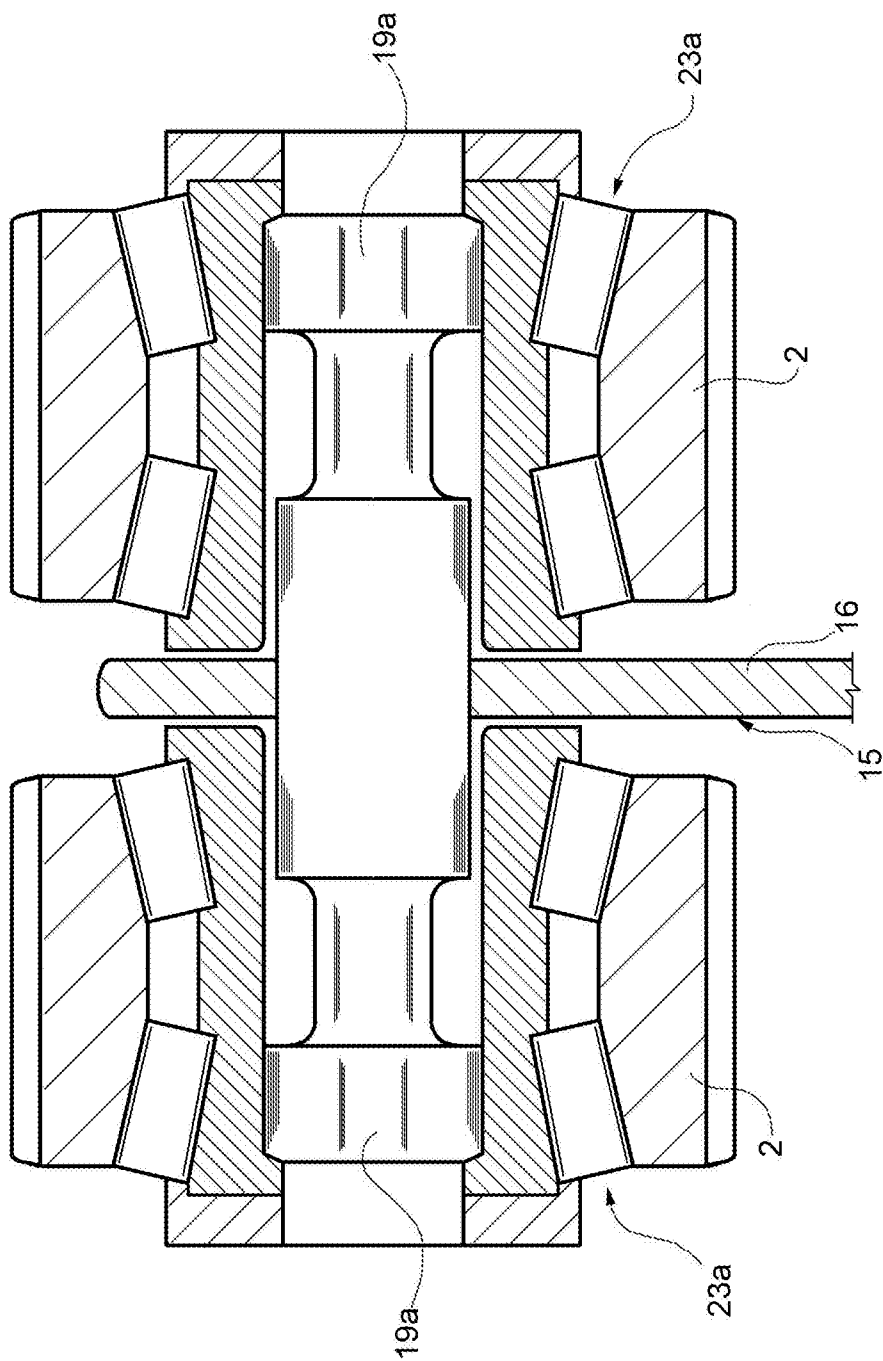


FIG. 6

p.i.: AVIO S.P.A.

Paolo LOVINO
(Iscrizione Albo nr. 999/B)