

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102012902011066A1

Publication Date

20130705

Applicant

FERRARI S.P.A.

Title

ATTUATORE LINEARE ELETTROMAGNETICO CON DISPOSITIVO
FRENANTE PER VARIARE LA GEOMETRIA DI UNA SOSPENSIONE ATTIVA DI
UNA VETTURA

D E S C R I Z I O N E

del brevetto per Invenzione Industriale dal titolo:

"ATTUATORE LINEARE ELETTROMAGNETICO CON DISPOSITIVO
FRENANTE PER VARIARE LA GEOMETRIA DI UNA SOSPENSIONE ATTIVA
DI UNA VETTURA"

di FERRARI S.P.A.

di nazionalità italiana

con sede: VIA EMILIA EST 1163

MODENA (MO)

Inventore: RAMIREZ RUIZ Isabel

*** **

SETTORE DELLA TECNICA

La presente invenzione è relativa ad un attuatore lineare elettromagnetico con dispositivo frenante per variare la geometria di una sospensione attiva di una vettura.

ARTE ANTERIORE

In una sospensione di una vettura, gli angoli caratteristici sono l'angolo di convergenza e angolo di campanatura detto anche angolo di camber.

L'angolo di convergenza totale è l'angolo formato tra i piani di rotolamento delle due ruote di uno stesso assale guardando la vettura dall'alto (ogni ruota ha un proprio angolo di convergenza che vale una frazione dell'angolo di convergenza totale); se i due piani si incrociano

anteriormente all'assale considerato (rispetto al senso di marcia) allora l'angolo di convergenza è positivo e se, viceversa, i due piani si incontrano posteriormente all'assale considerato (rispetto al senso di marcia) allora l'angolo di convergenza è negativo.

L'angolo di campanatura di una ruota è l'angolo che si misura tra il piano su cui rotola la ruota e l'asse di mezzeria perpendicolare al terreno; l'angolo di campanatura è negativo quando le ruote tendono a chiudersi verso la vettura e quindi i due piani di rotolamento delle ruote si incontrano al di sopra del piano stradale e, viceversa, l'angolo di campanatura è positivo se i due piani di rotolamento delle ruote si incrociano al di sotto del piano stradale.

In una sospensione passiva di tipo tradizionale, gli angoli di campanatura e di convergenza variano "passivamente" (ovvero senza alcun tipo di controllo esterno) in funzione delle forze e dei momenti che vengono applicati nell'orma di contatto del pneumatico (variazione elastica degli angoli) e in funzione dello scuotimento verticale della sospensione (variazione cinematica degli angoli). In una vettura sportiva ad alte prestazioni, la geometria della sospensioni e la rigidità del complesso molla/ammortizzatore vengono dimensionate per fare in modo che le variazioni degli angoli di campanatura e di

convergenza siano normalmente molto contenute; di conseguenza, gli angoli di campanatura e di convergenza effettivi non si allontanano mai in modo significativo dagli angoli di campanatura e di convergenza nominali che rappresentano un compromesso per massimizzare le prestazioni, ovvero per ottimizzare l'impronta di contatto del pneumatico al terreno.

È inevitabile che gli angoli di campanatura e di convergenza nominali rappresentino un compromesso che permette di avere sempre una impronta di contatto del pneumatico al terreno buona senza, tuttavia, permettere di avere mai (o quasi mai) una impronta di contatto del pneumatico al terreno ottima. Per migliorare l'impronta di contatto del pneumatico al terreno in tutte le condizioni, è stato proposto l'utilizzo di sospensioni attive in cui, ad esempio, braccetti della sospensione vengono sostituiti da corrispondenti attuatori lineari che sono pilotabili per variare in modo controllato la loro lunghezza e quindi variare in modo controllato l'angolo di campanatura e l'angolo di convergenza della sospensione.

Un esempio di una vettura provvista di sospensioni attive è fornito dalla domanda di brevetto WO2008078568A1, in cui una unità di controllo elettronica è collegata ad un sensore di sterzo che misura in tempo reale l'angolo di sterzo ed è collegata ad un giroscopio tri-assiale che è

solidale al telaio della vettura e misura in tempo reale ed in un sistema di riferimento tridimensionale le accelerazioni lineari rispetto al suolo e le accelerazioni angolari rispetto al suolo; in funzione delle misure ricevute dal sensore di sterzo e dal giroscopio triassiale, l'unità di controllo elettronica stabilisce ciclicamente quali sono i valori ottimali degli angoli di campanatura e di convergenza di ciascuna sospensione e quindi pilota di conseguenza gli attuatori lineari di ciascuna sospensione per conferire alla sospensione stessa gli angoli di campanatura e di convergenza ottimali.

Normalmente, per variare la geometria di una sospensione attiva di una vettura vengono utilizzati attuatori lineari idraulici del tipo di quello descritto nel brevetto US5438515A1; tuttavia, questi attuatori lineari idraulici presentano alcuni inconvenienti in quanto sono abbastanza pesanti, non permettono di ottenere una regolazione della posizione molto fine (precisa), e richiedono dei collegamenti idraulici con il circuito del fluido di comando che sono di complessa realizzazione in quanto devono essere nello stesso tempo affidabili nel tempo e sufficientemente flessibili per adattarsi agli spostamenti (scuotimenti) della sospensione. Al posto degli attuatori lineari idraulici è stato proposto anche l'utilizzo di attuatori lineari elettromagnetici, i quali,

tuttavia, non sono in grado di sviluppare potenze di spinta molto elevate e quindi non sono adatti a venire utilizzati per il controllo dell'angolo di campanatura di una sospensione in quanto la variazione rapida (ovvero con una frequenza di alcuni Hertz) dell'angolo di campanatura richiede l'applicazione nella sospensione di potenze elevate (indicativamente la forza necessaria a variare l'angolo di campanatura è sempre almeno tre volte la forza necessaria a variare l'angolo di convergenza).

DESCRIZIONE DELLA INVENZIONE

Scopo della presente invenzione è di fornire un attuatore lineare elettromagnetico con dispositivo frenante per variare la geometria di una sospensione attiva di una vettura, il quale attuatore lineare elettromagnetico sia esente dagli inconvenienti sopra descritti e, in particolare sia di facile ed economica realizzazione.

Secondo la presente invenzione viene fornito un attuatore lineare elettromagnetico con dispositivo frenante per variare la geometria di una sospensione attiva di una vettura, secondo quanto rivendicato dalle rivendicazioni allegate.

BREVE DESCRIZIONE DEI DISEGNI

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

- la figura 1 è una vista schematica ed in pianta di una vettura con sospensioni attive che sono provviste di attuatori lineari elettromagnetici realizzati in accordo con la presente invenzione;
- la figura 2 è una vista prospettica e con parti asportate per chiarezza di una sospensione posteriore attiva della vettura della figura 1;
- le figure 3 e 4 sono due viste in sezione longitudinale, rispettivamente frontale ed in prospettiva, di un attuttore lineare elettromagnetico della sospensione posteriore attiva della figura 2;
- le figure 5 e 6 sono due viste in sezione longitudinale, rispettivamente frontale ed in prospettiva, di un motore elettrico dell'attuatore elettromagnetico delle figure 3 e 4; e
- le figure 7 e 8 sono due viste in sezione longitudinale, rispettivamente frontale ed in prospettiva, di un dispositivo frenante dell'attuatore elettromagnetico delle figure 3 e 4.

FORME DI ATTUAZIONE PREFERITE DELL'INVENZIONE

Nella figura 1, con il numero 1 è indicata nel suo complesso una vettura stradale provvista di due ruote 2 anteriori e di due ruote 3 posteriori motrici, che ricevono la coppia motrice da un sistema 4 di motopropulsione.

Il sistema 4 di motopropulsione comprende un motore 5

termico a combustione interna, il quale è disposto in posizione anteriore ed è provvisto di un albero 6 motore, ed una trasmissione 7 manuale automatica (denominata comunemente "AMT"), la quale trasmette la coppia motrice generata dal motore 5 a combustione interna alle ruote 3 posteriori motrici. La trasmissione 7 comprende un albero 8 di trasmissione che è da un lato è angolarmente solidale all'albero 6 motore e dall'altro lato è meccanicamente collegato ad un cambio 9 a doppia frizione, il quale è disposto in posizione posteriore, e trasmette il moto alle ruote 3 posteriori motrici mediante due semiassi che ricevono il moto da un differenziale.

Ciascuna ruota 2 anteriore è meccanicamente collegata ad un telaio 10 della vettura 1 (parzialmente illustrato nella figura 2) mediante una sospensione 11 anteriore di tipo "multi-link" (secondo una diversa forma di attuazione la sospensione 11 anteriore è "a quadrilatero articolato"); analogamente, ciascuna ruota 3 posteriore è meccanicamente collegata al telaio 10 della vettura 1 mediante una sospensione 12 posteriore di tipo "multi-link". Ciascuna sospensione 11 o 12 comprende un attuatore 13 lineare elettromagnetico di grande potenza che è pilotabile per variare l'angolo di convergenza della sospensione 11 o 12 ed un attuatore 14 lineare elettromagnetico di grande potenza che è pilotabile per variare l'angolo di

campanatura della sospensione 11 o 12. In particolare, in ciascuna sospensione 11 o 12 gli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici sostituiscono dei braccetti che collegano il mozzo 15 (illustrato nella figura 2) della ruota 2 o 3 con il telaio 10; in questo modo, variando in modo controllato la lunghezza gli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici è possibile ottenere una corrispondente variazione degli angoli di convergenza e di campanatura. In altre parole, in ciascuna sospensione 11 o 12, gli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici accorciandosi e/o allungandosi in modo controllato possono variare gli angoli di convergenza e di campanatura.

Nella figura 2 è illustrata in vista prospettica una sospensione 12 posteriore provvista dei due attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici che sostituiscono dei braccetti che collegano il mozzo 15 della ruota 2 o 3 con il telaio 10. Nella figura 2 è riconoscibile un braccio 16 di controllo inferiore a cui è meccanicamente collegata una barra 17 anti-rollio con l'interposizione di un braccio 18 di collegamento. Nella figura 2 è anche riconoscibile un complesso molla/ammortizzatore 19 che è meccanicamente collegato al mozzo 15 mediante un bilanciere ("rocker") 20 ed una asta di spinta ("push-rod") 21. La disposizione orizzontale del complesso molla/ammortizzatore 19 permette di liberare dello spazio necessario ad alloggiare gli

attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici.

In ciascuna sospensione 11 o 12, gli angoli di convergenza e di campanatura nominali sono preferibilmente molti vicino allo zero (se non nulli), in quanto, grazie all'azione degli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici, in uso è possibile ottenere una correzione attiva degli angoli di convergenza e di campanatura, ovvero è possibile variare continuamente i valori effettivi degli angoli di convergenza e di campanatura per avere in ogni condizione gli angoli di convergenza e di campanatura ottimali.

Secondo una preferita forma di attuazione, ciascuna sospensione 11 o 12 (ed in particolare gli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici di ciascuna sospensione 11 o 12) viene investita da un flusso di aria di raffreddamento che viene preferibilmente convogliato attraverso una presa d'aria dinamica dedicata ed ha la funzione di permettere un adeguato raffreddamento degli attuatori 13 e 14 lineari.

Secondo quanto illustrato nella figura 1, è prevista una unità 22 di controllo elettronica ("ECU") che controlla in tempo reale gli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici di tutte le sospensioni 11 e 12 per adattare ciclicamente gli angoli di convergenza e di campanatura alla condizione dinamica della vettura 1. L'unità 22 di controllo è collegata ad un giroscopio 23

tri-assiale che è provvisto di una piattaforma inerziale statica di origine aeronautica, è solidale al telaio 10 della vettura, e misura in tempo reale ed in un sistema di riferimento tridimensionale le accelerazioni lineari rispetto al suolo lungo (accelerazioni longitudinale, trasversale e verticale) e le accelerazioni angolari rispetto al suolo (accelerazioni di rollio, di beccheggio e di imbardata). Inoltre, L'unità 22 di controllo è collegata ad un posizionatore 24 satellitare di alta precisione che misura in tempo reale la posizione georeferenziata della vettura 1 rispetto al suolo.

In uso, l'unità 22 di controllo stabilisce ciclicamente (ovvero con una frequenza prestabilita) quali sono i valori ottimali degli angoli di campanatura e di convergenza di ciascuna sospensione 11 o 12 e quindi pilota di conseguenza gli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici di ciascuna sospensione 11 o 12 per conferire alla sospensione 11 o 12 stessa gli angoli di campanatura e di convergenza ottimali. In particolare, l'unità 22 di controllo utilizza le misure fornite in tempo reale dal giroscopio 23 tri-assiale e dal posizionatore 24 satellitare, per determinare per ciascuna ruota 2 o 3 gli angoli di convergenza e di campanatura ottimali della corrispondente sospensione 11 o 12, ovvero gli angoli di convergenza e di campanatura che permettono di ottimizzare

la prestazione di forza globale ottenuta nell'orma di contatto del pneumatico della ruota 2 o 3 stessa.

Le frequenze di movimento richieste agli attuatori 13 e 14 lineari sono superiori alla dinamica di azione sullo sterzo (ovvero della dinamica di variazione dell'angolo di sterzo) e tipicamente raggiungono i 4-10 Hz su tutta la corsa di campanatura e di convergenza delle sospensioni 11 e 12 in presenza dei carichi massimi nell'orma di contatto dei pneumatici. In ciascuna sospensione 11 o 12 lo sforzo necessario per variare l'angolo di campanatura è sempre almeno tre volte più grande dello sforzo necessario per variare l'angolo di convergenza.

Nella forma di attuazione illustrata nella figura 1, tutte e quattro le sospensioni 11 e 12 sono attive, cioè sono provviste degli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici; secondo una diversa forma di attuazione non illustrata, solo le due sospensioni 11 anteriori oppure solo le due sospensioni 12 posteriori sono attive mentre le due sospensioni 12 posteriori oppure le due sospensioni 11 anteriori sono passive.

Secondo quanto illustrato nelle figure 3 e 4, ciascun attuatore 13 o 14 lineare elettromagnetico comprende una asta 25 che presenta un asse 26 longitudinale di simmetria ed è provvista ad una estremità di un organo 27 di attacco meccanico mediante il quale l'asta 25 viene fissata al

mozzo 15. Inoltre, ciascun attuatore 13 o 14 lineare elettromagnetico comprende un cilindro 28 che è disposto coassialmente all'asta 25, alloggia al suo interno una porzione dell'asta 25 permettendo uno scorrimento assiale (ovvero parallelamente all'asse 26 longitudinale) dell'asta 25 stessa, ed è provvisto ad una estremità opposta all'organo 27 di attacco meccanico di un organo 29 di attacco meccanico mediante il quale il cilindro 28 viene fissato al telaio 10. Secondo una diversa ed equivalente forma di attuazione non illustrata, l'asta 25 viene fissata al telaio 10 mediante l'organo 27 di attacco meccanico ed il cilindro 28 viene fissato al mozzo 15 mediante l'organo 29 di attacco meccanico.

Ciascun attuatore 13 o 14 lineare elettromagnetico comprende un motore 30 elettrico rotante che è disposto all'interno del cilindro 28, è atto a venire portato in rotazione per generare uno scorrimento assiale tra l'asta 25 ed il cilindro 28, e comprende uno statore 31 rigidamente vincolato al cilindro 28 ed un rotore 32 meccanicamente collegato all'asta 25. Il rotore 32 del motore 30 elettrico è supportato in modo girevole dal cilindro 28 mediante l'interposizione di due cuscinetti 33 a sfera disposto dai lati opposti del rotore 32.

Lo scorrimento assiale dell'asta 25 rispetto al cilindro 28 è guidato da un lato dal rotore 32 del motore

30 elettrico che supporta l'asta 25 stessa (come verrà meglio descritto in seguito) ed è guidato dall'altro lato da una boccia 34 lineare che è portata dal cilindro 28.

Ciascun attuatore 13 o 14 lineare elettromagnetico comprende un dispositivo 35 frenante, il quale è disposto all'interno del cilindro 28 di fianco al motore 30 elettrico, è comandabile elettricamente, ed è atto a sviluppare una forza frenante che si oppone allo scorrimento tra l'asta 25 ed il cilindro 28.

Infine, ciascun attuatore 13 o 14 lineare elettromagnetico comprende un sensore 36 di posizione che misura la posizione assiale (cioè misurata lungo l'asse 26 longitudinale) dell'asta 25 rispetto al cilindro 28. Il sensore 36 di posizione comprende un lettore 37 fisso che è vincolato al cilindro 28 ed un cursore 38 mobile che è montato scorrevole all'interno del lettore 37 fisso ed è vincolato all'asta 25. Secondo una preferita forma di attuazione, l'asta 25 è tubolare, ovvero presenta internamente una cavità, in cui è parzialmente disposto il cursore 38 mobile.

In corrispondenza della estremità aperta del cilindro 28, il cilindro 28 stesso supporta degli anelli 39 di tenuta che circondano l'asta 25 e sigillano l'intercapedine anulare esistente tra la superficie esterna dell'asta 25 e la superficie interna del cilindro 28.

Secondo quanto illustrato nella figura 5 e 6, il motore 30 elettrico è un motore "brush-less" a corrente continua e con il rotore a magneti permanenti. Lo statore 31 comprende un nucleo 40 magnetico realizzato in materiale ferromagnetico ed almeno un avvolgimento 41 statorico inserito all'interno del nucleo 40 magnetico. Il rotore 32 comprende un corpo 42 di supporto tubolare realizzato in materiale amagnetico (in particolare in acciaio amagnetico che presenta una elevata resistenza meccanica ed una bassa permeabilità magnetica) ed una pluralità di magneti 43 permanenti che sono fissati al corpo 42 di supporto e definiscono rispettivi poli magnetici. Il corpo 42 di supporto tubolare è realizzato in acciaio amagnetico per non "disturbare" l'interazione tra il campo magnetico generato dall'avvolgimento 41 statorico ed il campo magnetico generato dai magneti 43 permanenti.

E' previsto un dispositivo 44 di collegamento a ricircolazione di sfere che è interposto tra il rotore 32 e l'asta 25 e trasforma il movimento circolare del rotore 32 in un movimento lineare dell'asta 25. Secondo una preferita forma di attuazione, il dispositivo 44 di collegamento a ricircolazione di sfere è direttamente integrato nel corpo 42 di supporto del rotore 32, ovvero il dispositivo 44 di collegamento a ricircolazione di sfere forma una unità indivisibile con il corpo 42 di supporto del rotore 32. In

particolare, il dispositivo 44 di collegamento a ricircolazione di sfere comprende una scanalatura 45 elicoidale ricavata su una superficie interna del corpo 42 di supporto del rotore 32 (in questo modo, il corpo 42 di supporto del rotore 32 costituisce una madre vite) ed una scanalatura 46 elicoidale che è ricavata su una superficie esterna dell'asta 25 ed è affacciata alla scanalatura 45 elicoidale per definire, assieme alla scanalatura 45 elicoidale stessa, un canale 47 elicoidale presentante due estremità opposte. Una pluralità di sfere 48 sono inserite all'interno del canale 47 elicoidale e stabiliscono un vincolo meccanico tra il rotore 32 e l'asta 25. Inoltre, le due estremità del canale 47 elicoidale sono tra loro collegate mediante un canale 49 di ricircolo che ha la funzione di mantenere le sfere 48 sempre all'interno del canale 47 elicoidale. Secondo una preferita forma di attuazione, il canale 49 di ricircolo è ricavato attraverso il rotore 32, ovvero attraverso il corpo 42 di supporto del rotore 32. Ai lati opposti del canale 47 elicoidale sono disposti due anelli 50 di tenuta che sigillano lateralmente il canale 47 elicoidale.

Nella forma di attuazione illustrata, è previsto un unico canale 47 elicoidale; secondo una alternativa e perfettamente equivalente forma di attuazione non

illustrata, sono previsti due o più canali 47 elicoidali disposti uno di fianco all'altro.

Nella forma di attuazione illustrata nelle figure allegate, il rotore 32 del motore 30 elettrico è collegato all'asta 25 attraverso il dispositivo 44 di collegamento a ricircolazione di sfere disposto internamente al rotore 32, ed il rotore 32 del motore 30 elettrico è disposto all'interno dello statore 31 che è rigidamente vincolato al cilindro 28. In altre parole, il motore 30 elettrico presenta la conformazione "a rotore interno"; ovvero il rotore 32 è disposto all'interno dello statore 31, ed il rotore 32 è collegato all'asta 25 attraverso il dispositivo 44 di collegamento a ricircolazione di sfere disposto internamente al rotore 32 stesso. Secondo una diversa e perfettamente equivalente forma di attuazione non illustrata, lo statore 31 è rigidamente vincolato all'asta 25 ed è disposto all'interno del rotore 32 che è collegato al cilindro 28 attraverso il dispositivo 44 di collegamento a ricircolazione di sfere disposto esternamente al rotore 32. In altre parole, il motore 30 elettrico presenta la conformazione "a rotore esterno"; ovvero il rotore 32 è disposto all'esterno dello statore 31, ed il rotore 32 è collegato al cilindro 28 attraverso il dispositivo 44 di collegamento a ricircolazione di sfere disposto esternamente al rotore 32 stesso. La differenza tra le due

forma di attuazione è una semplice inversione meccanica della posizione del rotore 32 e dello statore 31.

Secondo quanto illustrato nelle figure 7 e 8, il dispositivo 35 frenante è disposto all'interno del cilindro 28, è comandabile elettricamente, ed è atto a sviluppare una forza frenante che si oppone allo scorrimento tra l'asta 25 ed il cilindro 28. Secondo una preferita forma di attuazione, il dispositivo 35 frenante è normalmente frenante, ovvero il dispositivo 35 frenante sviluppa una forza frenante che si oppone allo scorrimento tra l'asta 25 ed il cilindro 28 quando è privo di alimentazione elettrica e deve venire alimentato elettricamente per annullare la forza frenante che si oppone allo scorrimento tra l'asta 25 ed il cilindro 28. Questa caratteristica garantisce che gli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici variano la loro lunghezza (quindi variano gli angoli di convergenza e campanatura delle sospensioni 11 e 12) solo quando vengono pilotati ed in assenza di pilotaggio esterno (quindi anche in caso di guasto) mantengono costante la loro lunghezza rendendo le sospensioni 11 e 12 passive. In altre parole, in caso di guasto del pilotaggio degli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici, le sospensioni 11 e 12 si comportano come delle sospensioni passive garantendo la sicurezza della marcia della vettura 1.

Secondo la forma di attuazione illustrata nelle figure allegate, il dispositivo 35 frenante è atto a sviluppare una forza frenante che si oppone direttamente alla rotazione del rotore 32 del motore 30 elettrico, ovvero il dispositivo 35 frenante è atto a sviluppare una coppia frenante che si oppone la rotazione del rotore 32 del motore 30 elettrico. In particolare, il dispositivo 35 frenante comprende un elemento 51 di supporto anulare (ovvero conformato ad anello) che è angolarmente solidale al cilindro 28 e presenta una superficie 52 di attrito anulare, ed un pattino 53 anulare (ovvero conformato ad anello) che è angolarmente solidale al rotore 32 del motore 30 elettrico e presenta una superficie 54 di attrito anulare affacciata alla superficie 52 di attrito anulare. Inoltre, il dispositivo 35 frenante comprende un attuatore 55 elettromagnetico comandabile elettricamente che è atto a premere assialmente il pattino 53 contro l'elemento 51 di supporto per premere assialmente una contro l'altra le due superfici 52 e 54 di attrito in modo da sviluppare una forza frenante che si oppone direttamente alla rotazione del rotore 32 del motore 30 elettrico.

L'attuatore 55 elettromagnetico comprende un polo magnetico fisso che è solidale al cilindro 28, è realizzato in materiale ferromagnetico, ed è costituito dall'elemento 51 di supporto e da un ulteriore elemento 56 di supporto

anulare che è disposto attorno all'elemento 51 di supporto. Tra i due elementi 51 e 56 di supporto è definita una cavità anulare in cui è disposta una bobina 57 che è magneticamente accoppiata al polo magnetico fisso ed è atta a venire percorsa da una corrente elettrica per generare un campo magnetico attraverso il polo magnetico fisso stesso. Infine, l'attuatore 55 elettromagnetico comprende una ancora magnetica che è costituita dal pattino 53, è disposta in prossimità del polo magnetico fisso (ovvero è affacciata agli elementi 51 e 56 di supporto), è meccanicamente vincolata alla superficie 54 di attrito (ovvero supporta la superficie 54 di attrito), ed è atta a venire attratta magneticamente dal polo magnetico fisso per premere la superficie 54 di attrito contro la superficie 52 di attrito.

Secondo una preferita forma di attuazione, l'attuatore 55 comprende un magnete 58 permanente che è magneticamente accoppiato al polo magnetico fisso e genera un campo magnetico permanente che attrae l'ancora magnetica verso il polo magnetico fisso per premere la superficie 54 di attrito contro la superficie 52 di attrito. Nella forma di attuazione illustrata nelle figure 7 ed 8, il magnete 58 permanente è composto da due corpi magnetici anulari disposti uno di fianco all'altro. In assenza di alimentazione elettrica (ovvero quando la bobina 57 non è

percorsa da corrente), il dispositivo 35 frenante sviluppa una forza frenante che si oppone allo scorrimento tra l'asta 25 ed il cilindro 28 per effetto della forza di attrazione magnetica che il polo magnetico fisso esercita sull'ancora magnetica e che è dovuta al campo magnetico permanente generato dal magnete 58 permanente.

In uso, la bobina 57 è atta a venire percorsa da una corrente elettrica con un primo verso di circolazione per generare un campo magnetico temporaneo che è opposto al campo magnetico permanente ed annulla il campo magnetico permanente stesso per annullare la forza frenante. In altre parole, il campo magnetico temporaneo generato dalla bobina 57 è opposto al campo magnetico permanente generato dal magnete 58 permanente ed annulla il campo magnetico permanente stesso; in questo modo, la forza frenante sviluppata dal dispositivo 35 frenante viene completamente annullata ed il rotore 32 del motore 30 elettrico è libero di ruotare per determinare una traslazione assiale dell'asta 25 rispetto al cilindro 28. Inoltre, in uso, la bobina 57 è atta a venire percorsa da una corrente elettrica con un secondo verso di circolazione (opposto al primo verso di circolazione) per generare un campo magnetico temporaneo che è concorde con il campo magnetico permanente ed aumenta gli effetti del campo magnetico permanente stesso per incrementare la forza frenante. In

altre parole, il campo magnetico temporaneo generato dalla bobina 57 è concorde al campo magnetico permanente generato dal magnete 58 permanente ed aumenta l'intensità del campo magnetico complessivo; in questo modo, la forza frenante sviluppata dal dispositivo 35 frenante viene aumentata per arrestare molto rapidamente la rotazione del rotore 32 del motore 30 elettrico e quindi arrestare molto rapidamente la traslazione assiale dell'asta 25 rispetto al cilindro 28.

La forza frenante sviluppata per effetto del solo campo magnetico permanente è in grado di bloccare (con un adeguato margine di sicurezza) la rotazione del rotore 32 del motore 30 elettrico e quindi impedire la traslazione assiale dell'asta 25 rispetto al cilindro 28. In particolare, la forza frenante sviluppata dal dispositivo 35 frenante per effetto del solo campo magnetico permanente viene dimensionata per resistere a tutte le sollecitazioni a cui viene sottoposto l'attuatore 13 o 14 lineare elettromagnetico durante la guida della vettura 1. Grazie all'azione della bobina 57, la forza frenante sviluppata per effetto del solo campo magnetico permanente può venire annullata (per permettere di variare la posizione assiale reciproca dell'asta 25 e del cilindro 28 mediante il motore 30 elettrico) oppure può anche venire incrementata per arrestare molto rapidamente la rotazione del rotore 32 del

motore 30 elettrico e quindi arrestare molto rapidamente la traslazione assiale dell'asta 25 rispetto al cilindro 28.

Come detto in precedenza, il pattino 53 costituente l'ancora magnetica supporta direttamente la superficie 54 di attrito ed è meccanicamente collegato al rotore 32 del motore 30 elettrico in modo da essere angolarmente solidale al rotore 32; inoltre, il pattino 53 è meccanicamente collegato al rotore 32 del motore 30 elettrico in modo da potere scorrere assialmente rispetto al rotore 32 stesso. In particolare, il pattino 53 costituente l'ancora magnetica è meccanicamente solidale (rigidamente vincolato) ad un anello 59 di collegamento disposto radialmente all'interno (ovvero una estremità dell'anello 59 di collegamento è disposta radialmente all'interno del pattino 53). L'anello 59 di collegamento è angolarmente solidale ed assialmente scorrevole con una appendice 60 del rotore 32 del motore 30 elettrico che è disposta all'esterno dell'anello 59 di collegamento (ovvero l'anello 59 di collegamento è angolarmente solidale ed assialmente scorrevole con il rotore 32 del motore 30 elettrico); in particolare, l'accoppiamento meccanico tra l'anello 59 di collegamento e l'appendice 60 del rotore 32 del motore 30 elettrico è realizzato mediante un "millerighe" che impedisce una rotazione reciproca tra le due parti e consente una traslazione assiale reciproca tra le due parti.

Il pattino 53 è supportato dalla appendice 60 anche mediante un anello 61 di supporto che è disposto attorno all'appendice 60 ed è meccanicamente collegato al pattino 53 per impedire una rotazione e permettere una traslazione assiale tra l'anello 61 di supporto ed il pattino 53. Tra il pattino 53 costituente l'ancora magnetica e l'anello 61 di supporto è presente un traferro 62 anulare in cui è alloggiata una molla 63 a disco che tira il pattino 53 costituente l'ancora magnetica lontano dal polo magnetico fisso (costituito dagli elementi 51 e 56 di supporto), ovvero tende ad allontanare tra loro le due superfici 52 e 54 di attrito. La funzione della molla 63 a disco (che applica al pattino 53 una forza di origine elastica opposta alla forza di origine magnetica generata dal magnete 58 permanente) è di aumentare la prontezza dell'attuatore 55, ovvero diminuire i tempi di risposta dell'attuatore 55. La molla 63 a disco è resa solidale all'anello 61 di supporto mediante tre viti 64 (una sola delle quali è illustrata nelle figure 7 ed 8). L'anello 61 di supporto è meccanicamente collegato al pattino 53 mediante tre rivetti 65 (uno solo dei quali è illustrato nelle figure 7 ed 8), ciascuno dei quali ha una sezione trasversale ad "H" e rende il pattino 53 costituente l'ancora magnetica angolarmente solidale all'anello 61 di supporto permettendo nel contempo un piccolo scorrimento assiale tra il pattino

53 costituente l'ancora magnetica e l'anello 61 di supporto.

Secondo quanto illustrato nelle figure 3 e 4, i cavi 66 elettrici di alimentazione del motore 30 elettrico, i cavi 67 elettrici di alimentazione del dispositivo 35 frenante, ed i cavi 68 elettrici di lettura del sensore 36 di posizione vengono radunati insieme per viaggiare insieme verso l'unità 22 di controllo elettronica.

L'attuatore 13 o 14 lineare elettromagnetico sopra descritto presenta numerosi vantaggi.

In primo luogo l'attuatore 13 o 14 lineare elettromagnetico sopra descritto permette di ottenere una regolazione della posizione molto fine (precisa) potendo, nel contempo, sviluppare delle potenze di spinta molto elevate (e quindi è adatto a venire utilizzato anche per il controllo dell'angolo di campanatura delle sospensioni 11 e 12). A titolo di esempio, l'attuatore 13 o 14 lineare elettromagnetico può sviluppare una forza di spinta nominale superiore a 12 KN e sviluppare una forza di spinta di picco fino a 20 KN abbinante ad una velocità di spostamento assiale fino a 300mm/sec.

Inoltre, l'attuatore 13 o 14 lineare elettromagnetico sopra descritto è particolarmente compatto e leggero, quindi è di facile integrazione anche in una sospensione esistente; in aggiunta, l'attuatore 13 o 14 lineare

elettromagnetico offre una elevata resistenza meccanica non solo ai carichi assiali, ma anche ai carichi flessionali e trasversali e quindi è adatto a venire impiegato non solo in una sospensione di tipo "multi-link" (in cui sono prevalenti le sollecitazioni assiali e le sollecitazioni trasversali sono modeste) ma anche in una sospensione "a quadrilatero articolato" (in cui anche le sollecitazioni trasversali sono rilevanti).

Infine, l'attuatore 13 o 14 lineare elettromagnetico sopra descritto è anche di (relativamente) facile ed economica realizzazione ed è particolarmente robusto (ovvero affidabile nel tempo).

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

1) Attuatore (13; 14) lineare elettromagnetico per variare la geometria di una sospensione (11, 12) attiva di una vettura (1); l'attuatore (13; 14) lineare è atto a venire pilotato per variare la propria lunghezza in modo da variare la geometria della sospensione (11, 12) attiva e comprende:

una asta (25) che presenta ad una prima estremità un primo organo (27) di attacco meccanico;

un cilindro (28) che è disposto coassialmente all'asta (25), alloggia al suo interno una porzione dell'asta (25) permettendo uno scorrimento assiale dell'asta (25) stessa, e presenta ad una seconda estremità opposta alla prima estremità un secondo organo (29) di attacco meccanico; ed

un motore (30) elettrico rotante che è disposto all'interno del cilindro (28), è atto a venire portato in rotazione per generare uno scorrimento assiale tra l'asta (25) ed il cilindro (28), e comprende uno statore (31) rigidamente vincolato al cilindro (28) oppure all'asta (25) ed un rotore (32) meccanicamente collegato all'asta (25) oppure al cilindro (28);

l'attuatore (13; 14) lineare è **caratterizzato dal fatto di** comprendere un dispositivo (35) frenante, il quale è indipendente e separato dal motore (30) elettrico, è disposto all'interno del cilindro (28) di fianco al motore

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo nr.987/BM)

(30) elettrico, è comandabile elettricamente, ed è atto a sviluppare una forza frenante che si oppone allo scorrimento tra l'asta (25) ed il cilindro (28).

2) Attuatore (13; 14) lineare elettromagnetico secondo la rivendicazione 1, in cui il dispositivo (35) frenante è normalmente frenante, ovvero il dispositivo (35) frenante sviluppa una forza frenante che si oppone allo scorrimento tra l'asta (25) ed il cilindro (28) quando è privo di alimentazione elettrica e deve venire alimentato elettricamente per annullare la forza frenante che si oppone allo scorrimento tra l'asta (25) ed il cilindro (28).

3) Attuatore (13; 14) lineare elettromagnetico secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui il dispositivo (35) frenante è atto a sviluppare una forza frenante che si oppone direttamente alla rotazione del rotore (32) del motore (30) elettrico.

4) Attuatore (13; 14) lineare elettromagnetico secondo la rivendicazione 3, in cui il dispositivo (35) frenante comprende:

una prima superficie (54) di attrito anulare angolarmente solidale al rotore (32) del motore (30) elettrico;

una seconda superficie (52) di attrito anulare che è angolarmente solidale al cilindro (28) ed è affacciata alla

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo nr.987/BM)

prima superficie (54) di attrito anulare; ed

un attuatore (55) comandabile elettricamente che è atto a premere una contro l'altra le due superfici (52, 54) di attrito per sviluppare una forza frenante che si oppone direttamente alla rotazione del rotore (32) del motore (30) elettrico.

5) Attuatore (13; 14) lineare elettromagnetico secondo la rivendicazione 4, in cui l'attuatore (55) comprende:

un polo (51, 56) magnetico fisso solidale al cilindro (28);

una bobina (57) che è magneticamente accoppiata al polo (51, 56) magnetico fisso ed è atta a venire percorsa da una corrente elettrica per generare un campo magnetico attraverso il polo (51, 56) magnetico fisso stesso; ed

una ancora (53) magnetica che è disposta in prossimità del polo (51, 56) magnetico fisso, è meccanicamente vincolata alla prima superficie (54) di attrito, ed è atta a venire attratta magneticamente dal polo (51, 56) magnetico fisso per premere la prima superficie (54) di attrito contro la seconda superficie (52) di attrito.

6) Attuatore (13; 14) lineare elettromagnetico secondo la rivendicazione 5, in cui l'attuatore (55) comprende un magnete (58) permanente che è magneticamente accoppiato al polo (51, 56) magnetico fisso e genera un campo magnetico permanente che attrae l'ancora (53) magnetica verso il polo

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo nr.987/BM)

(51, 56) magnetico fisso per premere la prima superficie (54) di attrito contro la seconda superficie (52) di attrito.

7) Attuatore (13; 14) lineare elettromagnetico secondo la rivendicazione 6, in cui la bobina (57) è atta a venire percorsa da una corrente elettrica con un primo verso di circolazione per generare un campo magnetico temporaneo che è opposto al campo magnetico permanente ed annulla il campo magnetico permanente stesso per annullare la forza frenante, e la bobina (57) è atta a venire percorsa da una corrente elettrica con un secondo verso di circolazione opposto al primo verso di circolazione per generare un campo magnetico temporaneo che è concorde con il campo magnetico permanente ed aumenta gli effetti del campo magnetico permanente stesso per incrementare la forza frenante.

8) Attuatore (13; 14) lineare elettromagnetico secondo la rivendicazione 5, 6 o 7, in cui l'ancora (53) magnetica supporta direttamente la prima superficie (54) di attrito ed è meccanicamente collegata al rotore (32) del motore (30) elettrico in modo da essere angolarmente solidale al rotore (32) e da potere scorrere assialmente rispetto al rotore (32) stesso.

9) Attuatore (13; 14) lineare elettromagnetico secondo la rivendicazione 8, in cui l'ancora (53) magnetica è

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo nr.987/BM)

angolarmente solidale ed assialmente scorrevole con un anello (61) di supporto che è rigidamente vincolato al rotore (32) del motore (30) elettrico.

10) Attuatore (13; 14) lineare elettromagnetico secondo la rivendicazione 9, in cui tra l'ancora (53) magnetica e l'anello (61) di supporto è presente un traferro (62) in cui è alloggiata una molla (63) a disco che tira l'ancora (53) magnetica lontano dal polo (51, 56) magnetico fisso.

11) Sospensione (11, 12) attiva di una vettura (1) comprendente:

un mozzo (15) supportante in modo girevole una ruota (2, 3); ed

almeno un attuatore (13; 14) lineare elettromagnetico che è atto collegare il mozzo (15) ad un telaio (10) della vettura (1) ed è atto a venire pilotato per variare la propria lunghezza in modo da variare la geometria della sospensione (11, 12) attiva;

la sospensione (11, 12) attiva è **caratterizzato dal fatto che** l'attuatore (13; 14) lineare elettromagnetico è realizzato secondo una delle rivendicazioni da 1 a 10.

p.i.: FERRARI S.P.A.

Matteo MACCAGNAN

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo nr.987/BM)

TITLE: "AN ELECTROMAGNETIC LINEAR ACTUATOR INCLUDING A BRAKING DEVICE FOR CHANGING THE GEOMETRY OF AN ACTIVE SUSPENSION OF A CAR"

C L A I M S

1) A linear electromagnetic actuator (13; 14) for changing the geometry of an active suspension (11, 12) of a car (1); the linear actuator (13; 14) can be controlled to change its own length so that it modifies the geometry of the active suspension (11, 12) and it comprises:

a stem (25) that bears at one first extremity a first interface element (27) for mechanical connections;

a cylinder (28) that has the same longitudinal axis as the stem (25) and that houses a portion of the stem (25) allowing an axial displacement of the stem (25), which cylinder (28) bears a second interface element (29) for mechanical connections, on the extremity opposite the afore mentioned first extremity; and

a rotary electric engine (30) located within the cylinder (28), that can be put in rotation to create an axial relative displacement between the stem (25) and the cylinder (28), and that comprises a stator (31) that is rigidly connected either to the cylinder (28) or to the stem (25) and a rotor (32) that is mechanically connected either to the stem (25) or to the cylinder (28);

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo nr.987/BM)

the electromagnetic linear actuator (13; 14) **is characterized in that** it comprises a braking device (35), which is independent and separate from the electric engine (30), is located within the the cylinder (28) close to the electric engine, which braking device (35) can be electrically actuated, and can develop a braking force that opposes the relative movement between the stem (25) and the cylinder (28).

2) An electromagnetic linear actuator (13; 14) as claimed in claim 1, wherein the braking device (35) normally operates in braking mode, i.e. the braking device (35) when it is not electrically powered develops a braking force that opposes the relative displacement between the stem (25) and the cylinder (28), and the braking device (35) must be electrically powered to cancel the braking force that opposes the relative displacement between the stem (25) and the cylinder (28).

3) An electromagnetic linear actuator (13; 14) as claimed in claim 1 or in claim 2, wherein the braking device (35) can develop a braking force that directly counters the rotation of the rotor (32) of the electric engine (30).

4) An electromagnetic linear actuator (13; 14) as claimed in claim 3, wherein the braking device (35) comprises:

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo nr.987/BM)

a first annular friction surface (54) that is set at a fixed angle with respect to the rotor (32) of the electric engine (30);

a second annular friction surface (52) that is set at a fixed angle with respect to the cylinder (28) and is facing the first annular friction surface (54); and

an electrically controlled actuator (55) that can press one against the other the two friction surfaces (52, 54) to develop a braking force that directly opposes the rotation of the rotor (32) of the electric engine (30).

5) An electromagnetic linear actuator (13; 14) as claimed in claim 4, wherein the electrically controlled actuator (55) comprises:

a fixed magnetic pole (51, 56) rigidly connected with the cylinder (28);

a coil (57) that is magnetically coupled to the fixed magnetic pole (51, 56), and that generates a magnetic field in the afore mentioned fixed magnetic pole (51, 56) when electric current flows through the coil (57); and

a magnetic anchor (53) that is located close to the fixed magnetic pole (51, 56), is mechanically fixed to the first friction surface (54), and can be magnetically pulled by the fixed magnetic pole (51, 56) in order to press the first friction surface (54) against the second friction surface (52).

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo nr.987/BM)

6) An electromagnetic linear actuator (13; 14) as claimed in claim 5, wherein the actuator (55) comprises a permanent magnet (58) that is magnetically coupled to the fixed magnetic pole (51, 56) and that creates a permanent magnetic field that pulls the magnetic anchor (53) towards the fixed magnetic pole (51, 56) in order to press the first friction surface (54) against the second friction surface (52).

7) An electromagnetic linear actuator (13; 14) as claimed in claim 6, wherein when an electric current flows through the coil (57) in a first specific direction, then the coil (57) generates a magnetic impermanent field that counters the permanent magnetic field and zeros the permanent magnetic field so that it also zeros the braking force, and furthermore, when an electric current flows through the coil (57) in a second direction that is opposite to the first direction, then the coil (57) creates an impermanent magnetic field with the same orientation as the permanent magnetic field, that increases the effect of the permanent magnetic field and therefore increases the braking force.

8) An electromagnetic linear actuator (13; 14) as claimed in any of the claims 5, 6 or 7, wherein the magnetic anchor (53) directly carries the first friction surface (54), and further it is mechanically connected to

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo nr.987/BM)

the rotor (32) of the electric engine (30) so that it is set at a fixed angle with respect to the rotor (32) whilst it is free to move in the axial direction with reference to the rotor (32).

9) An electromagnetic linear actuator (13;14) as claimed in claim 8, wherein the magnetic anchor (53) is set to a fixed angle with reference to a supporting annular element (61) whilst being free to move in the axial direction with reference to the same supporting annular element (61), which supporting annular element (61) is fixed in a rigid way to the rotor (32) of the electric engine (30).

10) An electromagnetic linear actuator (13; 14) as claimed in claim 9, wherein an air-gap (62) is present between the magnetic anchor (53) and the supporting annular element (61), which air-gap (62) houses a disc spring (63) that pulls the magnetic anchor (53) away from the fixed magnetic pole (51, 56).

11) Active suspension (11, 12) of a car (1) that comprises:

a hub (15) that supports a wheel (2; 3), on which hub (15) the wheel can rotate; and

at least one electromagnetic linear actuator (13; 14) that can connect the hub (15) to the chassis (10) of the car (1) and that can be controlled to change its own length

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo nr.987/BM)

so that it modifies the geometry of the active suspension (11, 12);

the active suspension (11, 12) **is characterized in that** the linear electromagnetic actuator (13; 14) is realized according to any of the claims from 1 to 10.

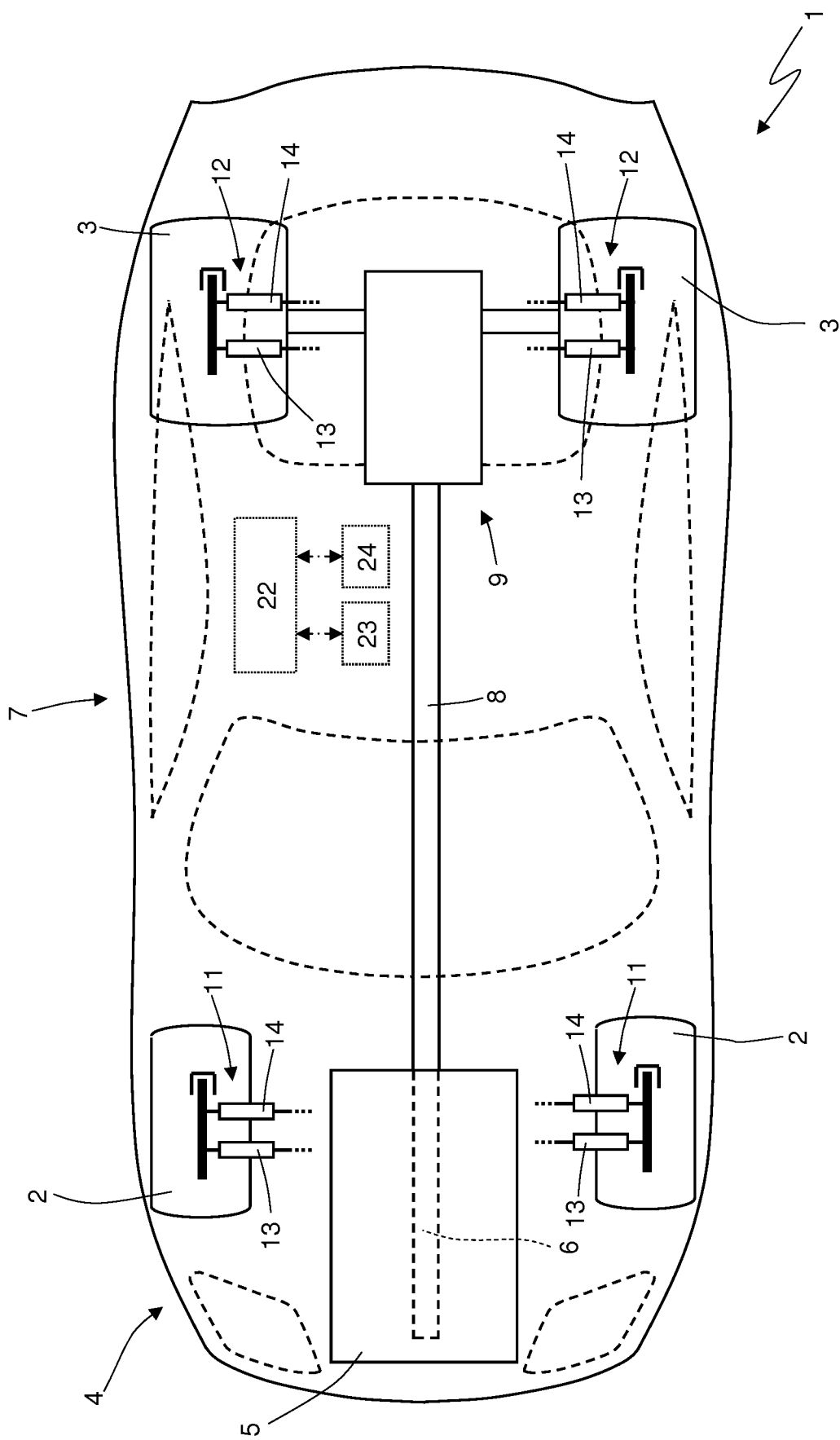


Fig. 1

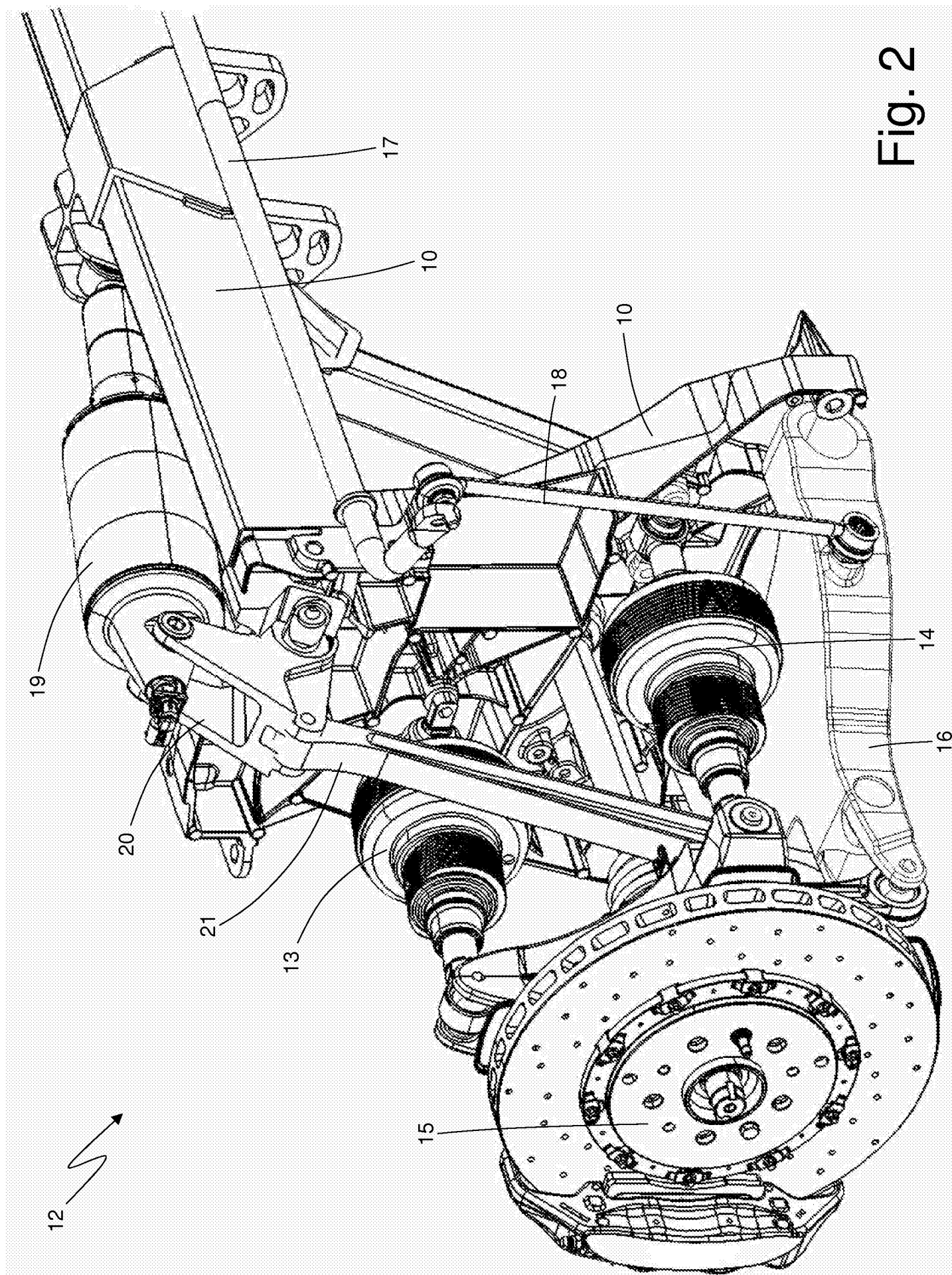


Fig. 2

13, 14

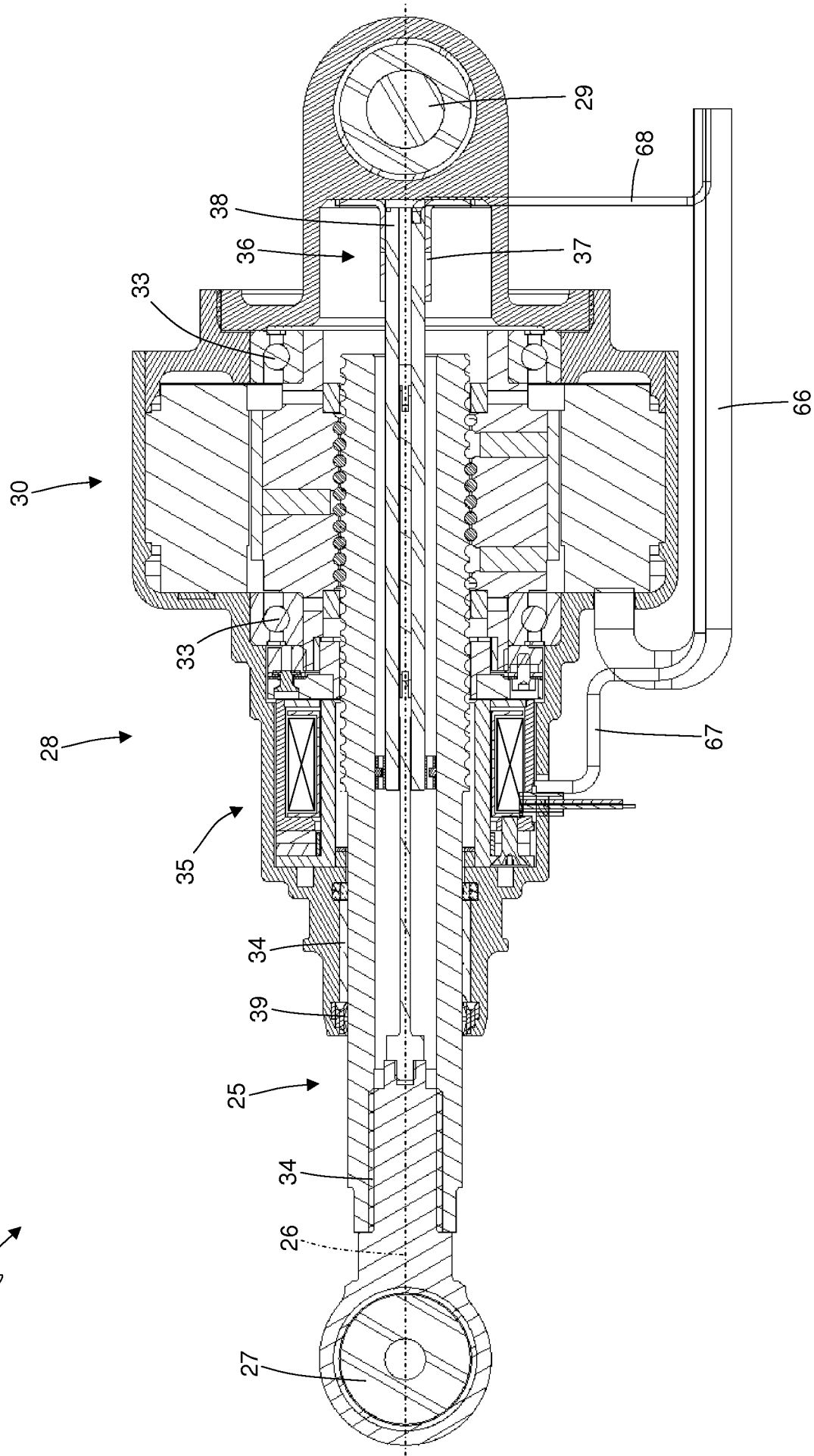


Fig. 3

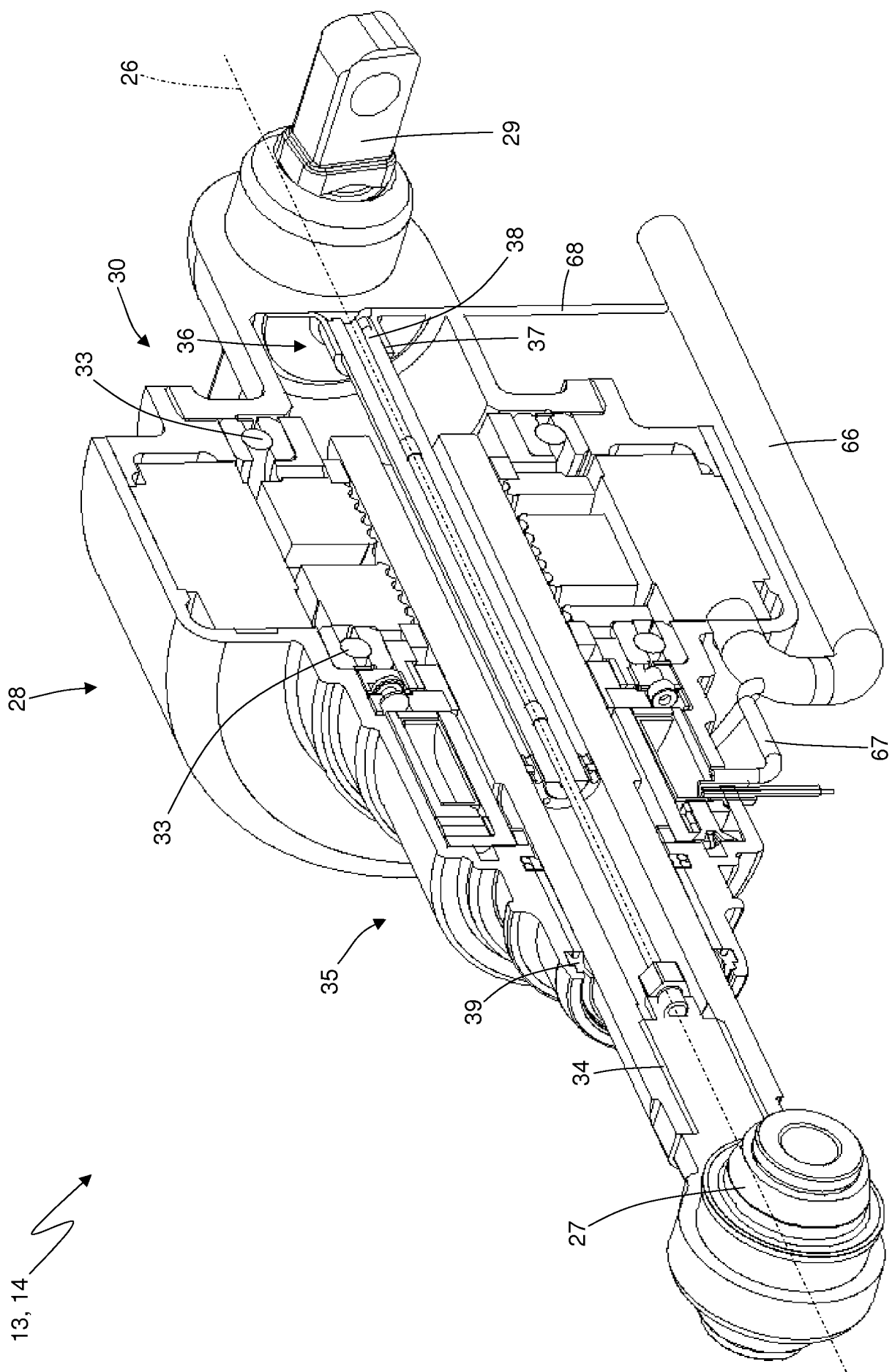


Fig. 4



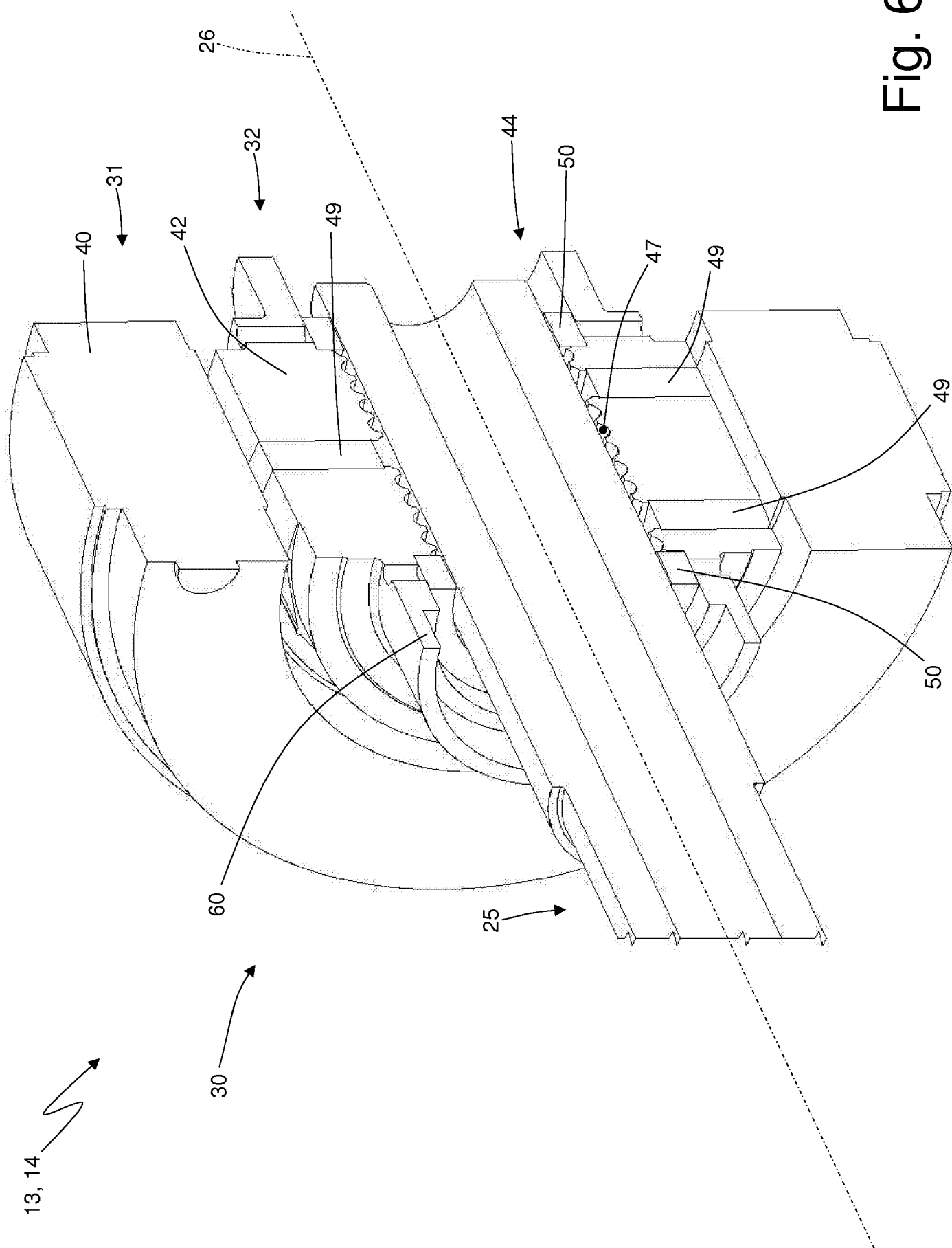


Fig. 6

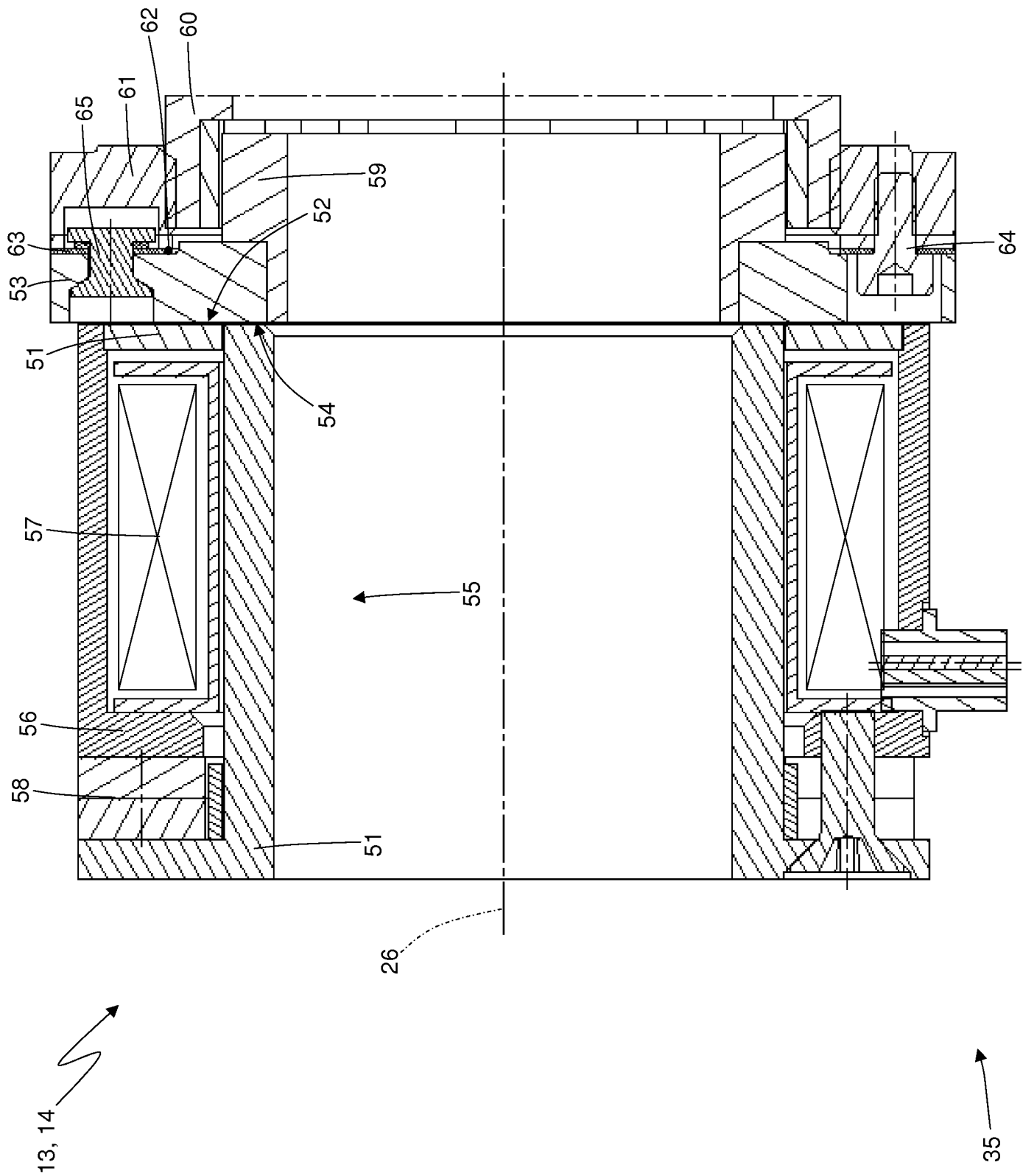


Fig. 7

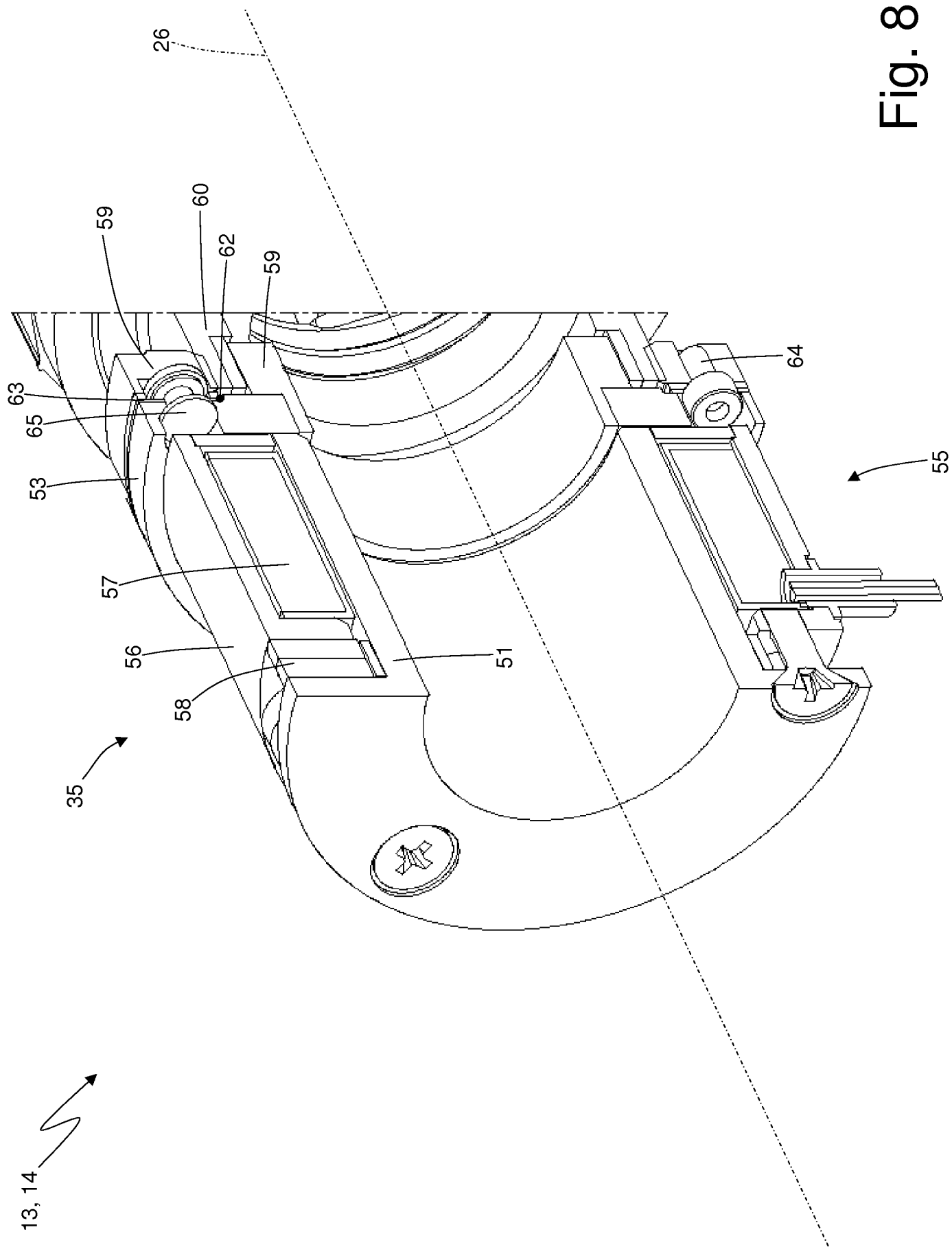


Fig. 8