

Jobb, Gangolf
D-81739 München

Elektromechanische Drehmaschine

Die vorliegende Erfindung betrifft eine elektromechanische Drehmaschine, vorzugsweise einen Drehantrieb, mit einem Außenring und einem Innenring, der in dem Außenring angeordnet und relativ zu dem Außenring drehbar gelagert ist, sowie einem elektromechanischen Energiewandler, der in einem ringförmigen Zwischenraum zwischen Außen- und Innenring aufgenommen ist und einen Stator sowie einen Rotor aufweist, wobei zwischen dem Außenring und dem Innenring eine Getriebestufe vorgesehen ist, durch die eine Drehbewegung des Rotors relativ zu den Innen- und Außenringen in eine Relativdrehung des Außenrings und des Innenrings relativ zueinander und umgekehrt umsetzbar ist.

Derartige Drehantriebe können in der Robotik, der industriellen Automation, bei elektrischen Fahrzeugen oder auch in der Energietechnik Verwendung finden. Insbesondere können solche Drehmaschinen auch in Windkraftanlagen als untersetzende Stromgeneratoren mit Lagerfunktion ausgebildet sein, oder auch als Stellantriebe für die Rotorblätter vorgesehen werden, sowie allgemein in der Energietechnik zur Umwandlung langsamer Drehbewegungen in elektrischen Strom dienen. Eine besondere Anforderung bei solchen Drehantrieben, wie sie beispielsweise in

der Robotik eingesetzt werden, ist eine besonders kompakte Bauweise. Nichtsdestotrotz müssen hohe Drehmomente erzeugbar sein, um die entsprechenden Bewegungen auch unter hohen Lasten präzise ausführen zu können.

Bislang ist es üblich, zur elektromechanischen Erzeugung hoher Drehmomente einen schnelldrehenden Elektromotor durch Zwischenschalten eines Untersetzungsgetriebes an eine Antriebswelle zu koppeln, wobei Motor, Getriebe und auch die Lager der Antriebswelle regelmäßig eigene Baugruppen darstellen, die eigene Gehäuse besitzen. Hierdurch können zwar hohe Drehmomente bei gleichzeitig langsamen Bewegungsgeschwindigkeiten realisiert werden, die Verwendung eines Untersetzungsgetriebes läuft jedoch dem Erfordernis einer kompakten Bauweise zuwider.

Es finden deshalb auch bisweilen Direktantriebe Verwendung, bei denen ein Elektromotor mit großem Drehmoment die Antriebswelle ohne Zwischenschalten eines Getriebes dreht. Hierdurch verringert sich der konstruktive Aufwand erheblich, zudem werden die unvermeidlichen Verluste, vor allem aber das Spiel und die Elastizität eines nachgeschalteten Getriebes vermieden. Allerdings wird die erforderliche Kraft dann mit großem Gewicht und großem Volumen des Motors und letztlich auch mit hohen Kosten erkaufte. Bei einer Verwendung als Schrittmotor ist der Schrittwinke durch die Polteilung der Elektromaschine vorgegeben und nicht beliebig verkleinerbar.

Einen elektromechanischen Direktantrieb mit gleichzeitiger Lagerfunktion beschreibt die DE 103 59 856 A1, die vorschlägt, den Außenring und den Innenring des Elektromotors, die dessen Stator- und Rotorteile tragen, gleichzeitig als Lagerschalen auszubilden, die durch zwei Wälzlager zueinander drehbar gelagert sind. Die genannten Außen- und Innenringe sind axial über die Stator- und Rotorteile mit den entsprechenden Wicklungen hinaus beidseitig verlängert, so dass in den ringförmigen Zwischenräumen an den jeweiligen stirnseitigen Überstand ein Kugellager angeordnet werden kann. Diese vorbekannte Anordnung baut zwar in radialer Richtung relativ kompakt, in axialer Richtung ergibt sich jedoch durch die

beidseitig angesetzten Lager zusätzliche Länge. Zudem besteht das zuvor genannte Problem, dass wegen der fehlenden Untersetzung hohe Drehmomente bei niedrigen Drehzahlen nur mit einem entsprechend großen Volumen und damit großen Gewicht des Motors erkauft werden kann.

Der vorliegenden Erfindung liegt hiervon ausgehend die Aufgabe zugrunde, eine verbesserte elektromechanische Drehmaschine der eingangs genannten Art zu schaffen, die Nachteile des Standes der Technik vermeidet und letzteren in vorteilhafter Weise weiterbildet. Vorzugsweise soll eine besonders kompakt bauende, konstruktiv einfache und damit kostengünstig herstellbare Drehmaschine geschaffen werden, die hohe Drehmomente auch bei niedrigen Drehzahlen erzeugen kann.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch eine elektromechanische Drehmaschine gemäß Anspruch 1 gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Es wird also vorgeschlagen, zwischen dem Außenring und dem Innenring der elektromechanischen Drehmaschine als Getriebestufe ein Planetengetriebe, bei dem An- und Abtrieb koaxial zueinander angeordnet sind, vorzusehen, durch das eine Drehbewegung des Rotors relativ zu den Innen- und Außenringen in eine Relativedrehung der Außen- und Innenringe relativ zueinander und umgekehrt umsetzbar ist. Die Planetenräder besitzen dabei zwei Wälzeingriffsabschnitte mit unterschiedlichen Teilkreisdurchmessern, von denen der eine mit dem Außen- und/oder Innenring und der andere mit dem Rotor in Wälzeingriff steht. Vorzugsweise stehen die Außen- und Innenringe mit dem Abschnitt mit kleinerem Teilkreisdurchmesser in Eingriff, während der Rotor mit dem Abschnitt mit größerem Teilkreisdurchmesser in Eingriff steht. Über das Getriebe werden der Außenring, der Innenring und der Rotor miteinander gekoppelt, wobei je nach Über- bzw. Untersetzung des Getriebes die gewünschte Drehzahlen- und Drehmomentumsetzung erreichbar ist. Insbesondere kann bei Ausbildung der Drehmaschine als Antrieb ein schnell laufender Rotor Verwendung finden, dessen hohe Drehzahl in eine relativ kleine Drehzahl von Außenring und Innenring relativ zueinander umgesetzt wird.

Um trotz der Getriebestufe einen besonders kompakten Aufbau zu erreichen, kann in Weiterbildung der Erfindung auf separate Radiallager und ggf. auch auf separate Axiallager verzichtet werden. Die zwischen Außenring und Innenring vorgesehene Getriebestufe kann gleichzeitig ein Radial- und/oder Axiallager bilden, durch das der Außenring und der Innenring der Drehmaschine relativ zueinander drehbar gelagert sind. Alternativ oder zusätzlich kann die Getriebestufe gleichzeitig auch ein Radial- und/oder Axiallager bilden, durch das der Rotor am Außenring und/oder am Innenring drehbar gelagert ist. Der Außenring stützt sich also über die Getriebestufe auf dem Innenring ab, so dass zumindest die Radialkräfte über die Getriebestufe abgetragen werden. Selbiges gilt vorteilhafterweise auch für den Rotor des elektromechanischen Energiewandlers. Durch den Verzicht auf separate Lager können nicht nur die entsprechenden Bauteile und damit Fertigungskosten eingespart werden, sondern auch Gewicht und Baugröße reduziert werden.

Grundsätzlich kommen für die Getriebestufe zwischen Außenring und Innenring verschiedene Getriebeausbildungen in Betracht. Insbesondere sind dabei die Planetenräder derart ausgebildet und am Innenring und Außenring derart abgestützt, dass sie gleichzeitig als Radiallager und/oder Axiallager für den Außenring und Innenring fungieren und die entsprechenden Lagerkräfte abtragen.

Um eine besonders kompakt bauende Anordnung zu erreichen, kann auf einen separaten Planetenradträger verzichtet werden. Insbesondere können die Planetenräder schwimmend zwischen dem Außenring und dem Innenring gelagert sein, wobei vorteilhafterweise die Planetenräder mit einer Außenumfangsfläche des Innenrings und einer Innenumfangsfläche des Außenrings in Wälzeingriff stehen. Insbesondere können die Außen- und Innenringe entsprechende Umfangsverzahnungen besitzen, mit denen die Planetenräder kämmen.

Grundsätzlich könnte auch eine Reibradausbildung der Getriebestufe in Betracht kommen, bei der ein Wälzeingriff über Reibung erfolgt. Bevorzugt ist jedoch ein Verzahnungseingriff mit den Außen- und Innenringen und die entsprechende Ausbil-

derung der Planetenräder als Zahnräder, die mit entsprechenden Umfangsverzahnungen an den Außen- und Innenringen kämmen, um eine hinreichende Synchronität zu erreichen. Hierdurch wird Schlupf vermieden, zudem können hohe Drehmomente übertragen werden.

Der Innenring der Drehmaschine bildet dabei mit seiner Außenumfangsverzahnung das Sonnenrad, um das die Planetenräder umlaufen. Gleichzeitig stehen die Planetenräder in Wälzeingriff mit dem Außenring, so dass die Umlaufbewegung der Planetenräder eine Relativbewegung zwischen Außenring und Innenring induziert.

Angetrieben werden die Planetenräder vorteilhafterweise von dem Rotor des Energiewandlers her, der mit einer Umfangsfläche ebenfalls mit den Planetenrädern in Wälzeingriff steht, wobei speziell hier eine Reibradausbildung möglich ist, um ruhigen Lauf bei hohen Drehzahlen sowie ggf. einen Rutschkupplungseffekt zu erreichen. Bei hohen zu erzeugenden Drehmomenten ist hingegen eine Verzahnungsausbildung mit kämmendem Eingriff bevorzugt. Bei Ausbildung der Drehmaschine als Generator würde der Antrieb der Planetenräder in umgekehrter Richtung von der Relativbewegung zwischen Außenring und Innenring her erfolgen, so dass der Rotor durch die Umlaufbewegung der Planetenräder angetrieben wird.

Insbesondere besitzt die Umfangsverzahnung des Rotors einen Teilkreisdurchmesser, der von den Teilkreisdurchmessern sowohl der Außenverzahnung des Innenrings als auch der Innenverzahnung des Außenrings abweicht.

Die Planetenräder besitzen vorteilhafterweise zwei Verzahnungen mit unterschiedlichen Teilkreisdurchmessern, wobei vorzugsweise die Außen- und Innenringe mit der Verzahnung mit kleinerem Teilkreisdurchmesser kämmen, während der Rotor mit der Verzahnung mit größerem Teilkreisdurchmesser kämmt.

Um eine stabile Abstützung der Planetenräder vorzugsweise in der vorgenannten schwimmenden Weise zwischen Außen- und Innenringen zu erreichen, kann die mit den Außen- und Innenringen kämmende Verzahnung der Planetenräder zwei

axial voneinander beabstandete Abschnitte aufweisen, zwischen denen die Verzahnung zum Eingriff mit dem Rotor angeordnet ist. Die Umfangsverzahnung des Außenrings oder die Umfangsverzahnung des Innenrings kann einen radialen Schlitz aufweisen, in dem die Verzahnung der Planetenräder läuft, die zum Eingriff mit dem Rotor vorgesehen ist. Die vorgenannten zwei voneinander axial beabstandeten Verzahnungsabschnitte laufen beidseitig des genannten Schlitzes in der Umfangsverzahnung des Außenrings oder des Innenrings, so dass die Planetenräder insgesamt stabil abgestützt sind.

Um eine stabile Abstützung des Außenrings relativ zum Innenring auch gegen Kippmomente zu erreichen, können in Weiterbildung der Erfindung zwei Sätze von Planetenrädern vorgesehen sein, die vorteilhafter Weise axial ausreichend weit voneinander beabstandet angeordnet, insbesondere an den stirnseitigen Endabschnitten von Außenring und Innenring zwischen diesen aufgenommen sind. Zusätzlich zur stabilen Abstützung von Außenring und Innenring hat diese Ausbildung der Getriebestufe mit zwei Sätzen von Planetenrädern auch noch den Vorteil, dass hohe Flächenpressungen an den Eingriffspunkten auch bei hohen Drehmomenten und damit Verzahnungsschädigungen, wie Mikrorisse, Ausbrüche und dergleichen, vermieden werden. Vorteilhafterweise kämmen beide Planetenrädersatzesätze auch mit dem Rotor. Grundsätzlich wäre es zwar möglich, einen der Planetenrädersatzesätze lastfrei sozusagen leer umlaufen zu lassen, so dass er lediglich zur Abstützung von Außen- und Innenring beitragen würde. Vorteilhafterweise übertragen jedoch beide Planetenrädersatzesätze Drehmoment, so dass es zu einer Lastaufteilung und damit Verringerung der Belastung der Verzahnungen kommt.

Um bei der vorgenannten Ausbildung der Planetenräder mit zwei Verzahnungen mit unterschiedlichem Teilkreisdurchmesser eine platzsparende Anordnung zu erreichen, ist in Weiterbildung der Erfindung vorgesehen, dass die Planetenräder mit ihren Verzahnungen mit großem Teilkreisdurchmesser einander überlappend angeordnet sind. Zusätzlich zur platzsparenden Anordnung können bei dieser Ausbildung auch besonders viele Planetenräder zwischen dem Außenring und dem Innenring angeordnet werden, so dass es zu einer guten Kraftaufteilung kommt.

Um die Radialkräfte zwischen Außenring und Innenring und/oder zwischen dem Rotor und dem Außen- oder Innenring in günstiger Weise abtragen zu können, kann in Weiterbildung der Erfindung die jeweilige Verzahnung an den Planetenrädern, den Außen- und Innenringen und/oder dem Rotor eine von der üblichen Evolventen-Verzahnung abweichende Zahnform besitzen. Die ideale Form findet sich zwischen der üblichen Evolventenform und einer Lagerwalze, insbesondere kann eine flache Wellenkurve als Zahnform vorgesehen sein, die dem Teil- bzw. Wälzkreis des jeweiligen Zahnrads überlagert ist. Gemäß einer bevorzugten Ausführung der Erfindung kann die Zahnform der Planetenräder einer Sinuskurve entsprechen, wobei die Zahnform der zugehörigen Verzahnung des Innenrings, des Außenrings und/oder des Rotors der zugehörigen Hüllkurve entspricht, die allerdings kaum von der vorgenannten Sinuskurvenform abweicht. Alternativ oder zusätzlich können die Zahnräder mit speziellen Rollflächen ausgestattet sein.

Vorteilhafterweise übernehmen die Planetenräder auch den Axialkraftabtrag zwischen Außen- und Innenring und/oder zwischen dem Rotor und dem Außen- oder Innenring. Hierzu können die Planetenräder geeignete axiale Führungsflächen besitzen, an denen der Außenring und der Innenring und/oder der Rotor axial im Sinne eines Anschlags anstehen. Alternativ oder zusätzlich können die Planetenräder auch Schrägverzahnungen besitzen, die bei Einsatz von zwei Planetenradsätzen oder bei zweigeteilten Zahnflächen zueinander gegenläufig gerichtet sind, so dass sich die durch die Schrägverzahnung entstehenden Axialkräfte kompensieren.

In Weiterbildung der Erfindung bilden der Außenring und der Innenring der Drehmaschine jeweils halbschalenförmige Gehäuseteile, die gemeinsam den Energiewandler und die Getriebestufe umschließen. Insbesondere kann der Außenring an seinen axialen Enden radial nach innen weisende Randstege aufweisen, während der Innenring an seinen axialen Enden radial nach außen weisende Randstege besitzt, wobei an den genannten Randstegen jeweils vorteilhafterweise Verzahnungen vorgesehen sind, mit denen die Planetenräder kämmen. Durch die Ausbildung der Randstege wird zwischen dem Außenring und dem Innenring ein ringförmiger Zwi-

schenraum geschaffen und auch axial begrenzt, so dass die darin aufgenommenen Maschinenkomponenten umschlossen und abgedeckt sind.

Der elektromechanische Energiewandler in dem Zwischenraum zwischen Außen- und Innenring kann grundsätzlich verschieden ausgebildet sein. Nach einer bevorzugten Ausführung der Erfindung kann der Energiewandler nach dem Transversalfluss-Prinzip arbeiten. Hierdurch kann mit einer kleinbauenden Anordnung ein hohes Drehmoment erzielt werden.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführung der Erfindung kann der elektromechanische Energiewandler als Synchronmaschine ausgebildet sein, bei der die Drehzahl des Rotors durch die Speisefrequenz und die Polzahl festgelegt ist. Neben den bekannten Vorteilen einer Synchronmaschine ist für die vorliegende Anwendung in einem möglichst kompakt bauenden Drehantrieb von besonderer Relevanz, dass im Vergleich zu einer Asynchronmaschine leichter gebaut werden kann.

Alternativ kann der Energiewandler jedoch auch als Asynchronmaschine ausgebildet sein, wodurch auch aus dem Stand heraus sehr hohe Drehmomente erzeugbar sind.

Der Rotor des Energiewandlers kann grundsätzlich verschieden ausgebildet sein. Vorteilhafterweise bildet der Rotor einen Reifen mit axialen Längsschlitzen aus einem weichmagnetischen Material, so dass entlang seines Umfangs abwechselnd magnetisch leitende und sperrende Bereiche entstehen. Die Axialschlitze können von ihrer elektromagnetischen Wirkung abgesehen gleichzeitig eine Ventilatorwirkung für den elektromechanischen Wandler entfalten. In Weiterbildung der Erfindung können dabei in den Stegen zwischen den Axialschlitzen weitere, feinere Schlitze vorgesehen sein, um Wirbelstromverluste zu unterdrücken.

Insbesondere von Vorteil ist die Ausbildung des Rotors als geschlitzter Reifen in Verbindung mit einer Ausbildung des Energiewandlers als Transversalfluss-Wandler mit drei elektrischen Phasen. Die drei Phasen werden abwechselnd erregt,

wobei die magnetisch leitenden Bereiche des als geschlitzter Reifen ausgebildeten Rotors jedes Mal über die gerade erregten Statorpole gezogen werden, um dort den magnetischen Kreis zu schließen. Die vorgeschlagene Bauart ist besonders leicht herzustellen, denn sie benötigt nur eine zylindrische Kupferwicklung für jede elektrische Phase und keine Permanentmagnete.

Zusätzlich zu dem elektromagnetischen Energiewandler können in dem Innenraum zwischen Außenring und Innenring zusätzliche Steuerungskomponenten der Drehmaschine angeordnet sein. Insbesondere können Sensoren zur Erfassung der Rotorlage, der Drehrichtung, der Drehzahl, des Drehmoments, der Temperatur, der Lagerlast, eines Innendrucks und/oder eines Schmierzustands in dem Innenraum angeordnet und mit der Steuerungseinheit verbunden werden. Vorteilhafterweise kann auch die Steuerungseinheit zur Ansteuerung der Spulen des elektromagnetischen Wandlers in dem Innenraum angeordnet sein. Hierdurch sind zum einen die entsprechenden Steuerungskomponenten geschützt von dem Außenring und dem Innenring umschlossen. Zum anderen sind keine langen Verkabelungen und Signalleitungsdurchführungen notwendig.

Über die vorerwähnte Kühlungsmöglichkeit durch die Ventilatorwirkung des geschlitzten Rotors können auch andere Kühlmittel Verwendung finden. Nach einer Ausführung der Erfindung kann der Außenring und/oder der Innenring nach außen hin und/oder nach innen hin Kühlrippen aufweisen, die die Fläche für den Wärmeübergang vergrößern und damit die Kühlleistung verbessern. Alternativ oder zusätzlich kann in Weiterbildung der Erfindung auch eine Flüssigkeitskühlung vorgesehen sein, vorzugsweise in den Stator integriert sein.

Zur Schmierung der Drehmaschine kann der Innenraum zwischen Außenring und Innenring zumindest teilweise mit Schmierstoff gefüllt sein, durch den die bewegten Teile hindurchbewegt werden. Alternativ oder zusätzlich kann der Schmierstoff auch mittels sich bewegender Verteilelemente, insbesondere Bürsten, verteilt werden, die durch den Schmierstoff hindurchbewegt und ggf. an Hindernissen abge-

streift oder rotiert werden, um den Schmierstoff an die notwendigen Stellen zu transportieren, vorzugsweise zu verspritzen.

Die Außen- und Innenringe der Maschine sind vorteilhafterweise durch geeignete Dichtungseinrichtungen, vorzugsweise in Form geeigneter Wellendichtungen abgedichtet, und zwar vorteilhafterweise einerseits gegen das Einringen von Schmutz und Feuchtigkeit und andererseits gegen das Austreten von Schmierstoffen in die Umwelt.

Soweit im Kontext der vorliegenden Anmeldung von einem Innenring gesprochen wird, muss dieser Innenring nicht zwangsweise einen innen hohlen Ring bilden. Der Innenring könnte auch aus Vollmaterial bestehen und sozusagen ein Wellenstück bilden, auf dem der Außenring in der zuvor beschriebenen Weise sitzt. Bevorzugt ist jedoch die Ausbildung des Innenrings tatsächlich als hohler Innenring, der mit seiner Innenumfangsfläche auf eine Welle oder eine Halterung gesteckt werden kann. Vorzugsweise kann der Innenring an seinem Innenumfang und/oder der Außenring an seinem Außenumfang eine Profilierung besitzen, vorzugsweise als Profilwelle ausgebildet sein, so dass das jeweils gewünschte Anschlussstück aufgesteckt und Drehmoment durch Formschluss übertragen werden kann. Hierdurch können ggf. auch mehrere Drehmaschinen zueinander parallel geschaltet werden, beispielsweise indem einfach mehrere Drehmaschinen mit ihren Innenringen auf eine gemeinsame Welle gesteckt werden. Vorzugsweise können hierzu an den Stirnseiten des Innenrings und/oder des Außenrings Steckverbindungsmitel vorgesehen sein, um beispielsweise die Strom- und Steueranschlüsse, aber auch die Zufuhr von Schmier- oder Kühlmitteln in einfacher Weise miteinander zu verbinden.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels und zugehöriger Zeichnungen näher erläutert. In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1: eine perspektivische schematische Darstellung eines Drehantriebs nach einer bevorzugten Ausführung der Erfindung im Teilschnitt, die die An-

ordnung des Elektromotors sowie der Getriebestufe zwischen dem Innenring und dem Außenring des Antriebs zeigen,

- Fig. 2: eine vergrößerte Querschnittsansicht durch den Außen- und Innenring und die dazwischen angeordnete Getriebestufe und den Elektromotor,
- Fig. 3: eine perspektivische Explosionsdarstellung des Stators und des Rotors des Elektromotors im Teilschnitt,
- Fig. 4: eine perspektivische Teilschnittansicht des Drehmotors ohne Darstellung des Stators des Elektromotors, um die Ankoppelung des Rotors des Elektromotors an den Innenring und den Außenring der Drehmaschine über die umlaufenden Planetenräder zu verdeutlichen, und
- Fig. 5: eine Draufsicht auf die Drehmaschine aus den vorhergehenden Figuren in einer Teilansicht, die die Eingriffsverhältnisse der Planetenräder, der Innen- und Außenringe und des Rotors verdeutlicht.

Der in Figur 1 gezeigte Drehantrieb 1 umfasst einen Innenring 2 sowie einen Außenring 3, die koaxial zueinander angeordnet und ineinander gesetzt sind, so dass zwischen ihnen ein ringförmiger Zwischenraum 4 begrenzt ist. Wie Figur 2 zeigt, besitzen die Innen- und Außenringe 2 und 3 jeweils an ihren axialen Enden radial nach innen bzw. radial nach außen gerichtete Randstege 5, die gegeneinander gerichtet sind, so dass die Innen- und Außenringe 2 und 3 jeweils halbschalenförmige Gehäuseteile bilden, die den genannten ringförmigen Zwischenraum 4 nicht nur radial, sondern auch axial begrenzen.

Die Umfangsflächen der genannten Randstege 5 sind jeweils mit einer Verzahnung 6 bzw. 7 versehen, zwischen denen ein ringförmiger Schlitz verbleibt. Zwischen der Innenverzahnung 6 und der Außenverzahnung 7 der Innen- und Außenringe 2 und 3 sitzt jeweils ein Satz von Planetenrädern 8, die um den ein Sonnenrad bildenden Innenring 2 umlaufen. Die genannten Planetenräder 8 kämmen dabei sowohl mit

der Innenverzahnung 6 als auch mit der Außenverzahnung 7, wobei die Planetenräder 8 vorteilhafterweise spielfrei zwischen den genannten Innen- und Außenverzahnungen 6 und 7 aufgenommen sind.

Zusätzlich zu ihrer Verzahnung 9, die mit den genannten Innen- und Außenverzahnungen 6 und 7 an den Innen- und Außenringen 2 und 3 kämmt, besitzen die Planetenräder 8 eine weitere Verzahnung 10, die gegenüber der Verzahnung 9 einen beträchtlich größeren Wälz- bzw. Teilkreisdurchmesser besitzt. Das Verhältnis der Teilkreisdurchmesser der Verzahnung 9 und der Verzahnung 10 der Planetenräder 8 kann verschieden gewählt sein und ist an das gewünschte Drehzahlübersetzungs- bzw. Untersetzungsverhältnis angepasst. Gemäß einer bevorzugten Ausführung der Erfindung kann die Verzahnung 10 einen Teilkreisdurchmesser besitzen, der mindestens doppelt so groß, vorzugsweise mehr als dreimal so groß als der Durchmesser des Teilkreises der Verzahnung 9 ist, vgl. Figur 5. Hierdurch können schnell laufende, kleinbauende Elektromotoren verwendet werden, die durch die entsprechende Untersetzung trotzdem ein hohes Drehmoment erzeugen können.

Mit der genannten Verzahnung 10 mit größerem Teilkreisdurchmesser kämmen die Planetenräder 8 mit einem Rotor 11 des Elektromotors 12, der ebenfalls in dem Zwischenraum 4 zwischen Innen- und Außenring angeordnet ist. Vorteilhafterweise ist der genannte Rotor 11 außenliegend, d.h. er liegt am radial äußeren Rand des Zwischenraums 4 und kämmt mit einer Innenverzahnung 13 mit den Planetenrädern 8, vgl. Figur 2.

Der Teilkreisdurchmesser der genannten Innenverzahnung 13 des Rotors 11 weicht dabei von den Teilkreisdurchmessern der Verzahnungen 6 und 7 an den Innen- und Außenringen 2 und 3 ab, vorteilhafterweise ist er größer als derjenige der Verzahnungen 6 und 7 der Innen- und Außenringe 2 und 3, vgl. Figur 2.

Wie Figur 2 zeigt, bildet die Verzahnung 9 der Planetenräder 8 mit dem kleinen Teilkreisdurchmesser zwei axial voneinander beabstandete Verzahnungsabschnitte

9a und 9b, zwischen denen die Verzahnung 10 mit dem großen Teilkreisdurchmesser sitzt. Über die beiden Verzahnungsabschnitte 9a und 9b sind die Planetenräder 8 stabil an der Außenverzahnung 7 des Innenrings 2 abgestützt und gegen Kippen gesichert, wobei auch die Außenverzahnung 7 des Innenrings 2 auf zwei Verzahnungsabschnitte 7a und 7b aufgeteilt ist, die voneinander durch einen radialen Schlitz 14 in der Außenverzahnung 7 voneinander beabstandet sind, vgl. Figur 1. Die Verzahnung 10 mit dem großen Teilkreis der Planetenräder 8 laufen in dem genannten Schlitz 14.

Die Planetenräder 8 bilden gleichzeitig Radial- und Axiallager, über die die Kräfte zwischen Innenring 2 und Außenring 3 abgetragen werden. Um Axialkräfte abzutragen, besitzen die genannten Planetenräder 8 axiale Führungsflächen 15. Wie Figur 2 zeigt, werden die genannten axialen Führungsflächen 15 von jeweils einem Absatz gebildet, der zwischen der Verzahnung 10 und den jeweiligen Abschnitten der Verzahnung 9 vorgesehen ist und einen größeren Außendurchmesser besitzt als die Verzahnung 9 der Planetenräder 8. Die genannten Absätze definieren mit ihren Stirnseiten einen Abstand, der im wesentlichen der Dicke des Schlitzes 14 entspricht. Mit den genannten Absätzen laufen die Planetenräder 8 nämlich in dem genannten Schlitz 14 und werden von den Stirnflächen dieser Absätze, die die Führungsflächen 15 bilden, axial geführt.

Wie die Figuren 1 und 2 zeigen, sind die Planetenräder 8 dabei einander überlappend angeordnet. Die scheibenförmigen Abschnitte mit den Verzahnungen 10 mit großem Teilkreisdurchmesser überlappen einander, so dass insgesamt eine große Anzahl von Planetenrädern 8 eingesetzt werden kann, wodurch ein stabiler Lauf und eine günstige Kraftaufteilung erzielt werden kann. Überdies wird eine stabile Lagerung von Innenring und Außenring erreicht.

Um die überlappende Anordnung zu erlauben, sind die scheibenförmigen Abschnitte mit der Verzahnung 10 mit dem großen Teilkreisdurchmesser an den Planetenrädern 8 axial versetzt zueinander angeordnet, d.h. die axialen Führungsflächen 15 sind mit ihren Abständen zu dem genannten scheibenförmigen Abschnitt mit den

Verzahnungen 10 abwechselnd umgedreht, so dass die scheibenförmigen Abschnitte mit den Verzahnungen 10 einmal oben und einmal unten in dem Schlitz 14 aufgenommen sind, vgl. Figur 2.

Um die Radialkräfte zwischen dem Innenring 2 und dem Außenring 3 in günstiger Weise abtragen zu können, besitzen die Planetenräder 8 von der üblichen Evolventen-Verzahnung abweichende Zahnformen. Insbesondere sind die Verzahnungen 9 und 10 jeweils sinusförmig ausgebildet, wie dies Figur 5 zeigt. Eine flachgedrückte Sinuszahnform stellt einen idealen Kompromiss dar, der einerseits Radialkräfte mit verhältnismäßig niedrigen Flächenpressungen abtragen kann und andererseits hohe Drehmomente übertragen kann. In entsprechender Weise sind die Verzahnungen 6, 7 und 13 an dem Innenring 2, dem Außenring 3 und dem Rotor 11 ausgebildet. Sie bilden eine komplementäre Hüllkurve, die einer Sinusform sehr ähnlich ist, vgl. Figur 5.

Zwischen den beiden Planetenradsätzen ist der Elektromotor 12 und insbesondere dessen Stator 17 aufgenommen. Der Stator ist dabei innenliegend angeordnet, d.h. innerhalb des Rotors 14, und ist starr mit dem Innenring 2 verbunden. Vorteilhafterweise kann der Stator 17 an seinem Innenumfang ein profilwellenartiges Profil besitzen, so dass er auf den entsprechend ausgebildeten Außenumfang des Innenrings 1 formschlüssig drehfest aufgeschoben werden kann. Es versteht sich, dass der Innenring 2 und der Außenring 3 geteilt ausgebildet sein können, um den Elektromotor 12 und auch die Getriebestufe 18 in dem Zwischenraum 14 anordnen zu können. In Figur 1 verdeutlicht die Linie 19 und die Linie 20 jeweils die Trennebene von Innenring 2 und Außenring 3.

Der in Figur 3 dargestellte Elektromotor 12 kann als Transversalfluss-Schrittmotor ausgeführt sein, der drei elektrische Phasen besitzt. Diese Bauart ist besonders leicht herzustellen, denn sie benötigt nur eine zylindrische Kupferwicklung für jede elektrische Phase und kann auf Permanentmagnete verzichten. Der Rotor 11 ist vorteilhafterweise als ein in axialer Richtung geschlitzter Reifen aus weichmagnetischem Material ausgebildet, der entlang seines Umfangs abwechselnd magnetisch

leitende und sperrende Bereiche ausbildet, d.h. magnetische Brücken und magnetische Sperren. Die drei Phasen werden dabei abwechselnd erregt, wobei die magnetisch leitenden Bereiche des Rotors 11 jedes Mal über die gerade erregten Statorpole 21 gezogen werden, um dort den magnetischen Kreis zu schließen. Vorteilhafterweise besitzen die Stege 22 weitere feinere Schlitze, um Wirbelstromverluste zu unterdrücken.

Der Rotor 11 wird vorteilhafterweise alleine von den Planetenrädern 8 gelagert, und zwar in radialer Richtung über die Innenverzahnung 13, die mit den Außenverzahnungen 10 der Planetenräder 8 kämmt, und in axialer Richtung über die von dem Absatz 16 gebildeten Führungsflächen, die mit den entsprechenden Führungsflächen an den scheibenförmigen Abschnitten der Verzahnungen 10 der Planetenräder 8 aufeinander abgleiten. Dementsprechend besteht der Rotor 11 aus kaum mehr Material als zur Ausbildung der magnetischen Brücken erforderlich ist. Er ist daher sehr leicht und trägheitsarm.

Durch die Schlitze 23 in dem Rotor 11 kann von den Elektromagneten des Stators 17 erhitzte Luft durch den Rotor 11 hindurch zur Gehäusewand zirkulieren. Der Rotor 11 entfaltet dabei aufgrund seiner Bewegung und Form eine kühlende Ventilatorwirkung im Innenraum des Drehantriebs. Zum verbesserten Wärmeübergang kann das von dem Innenring 2 und dem Außenring 3 gebildete Gehäuse sowohl außen wie auch innen mit Kühlrippen versehen sein. Darüber hinaus könnte in dem Stator 17 auch eine Flüssigkeitskühlung integriert sein, die in der gezeichneten Ausführung nicht eigens dargestellt ist.

Zur vereinfachten Montage kann der Drehantrieb vorteilhafterweise auf Profilwellen aufgesteckt werden bzw. in profilierte Halterungen eingesteckt werden. Der Innenring 2 besitzt hierzu an seinem Innenumfang ein geeignetes Profilwellenprofil, während der Außenring 3 ein solches an seinem Außenumfang aufweist. Zum Zusammenschalten mehrerer Drehantriebe können diese auf eine gemeinsame Profilwelle gesteckt werden, wobei vorteilhafterweise elektrische Steckverbindungen an den

Stoß- bzw. Auflageflächen an den Stirnseiten der Innenringe 2 vorgesehen sein können.

Zur Schmierung kann der Innenraum 4 des Drehantriebs teilweise mit Schmierstoff gefüllt sein, durch welchen die bewegten Teile teils hindurch gezogen, teils aber auch mit Hilfe von durch den Schmierstoff hindurch bewegten und ggf. an Hindernissen abstreifenden oder rotierenden Bürsten mit diesem bespritzt werden. Durch geeignete Wellendichtungen zwischen dem Innenring 2 und dem Außenring 3 kann der Zwischenraum 4 nach außen hin abgedichtet werden, um das Eindringen von Schmutz und Feuchtigkeit ebenso zu verhindern wie das Austreten von Schmierstoff in die Umwelt.

Ohne eigens dargestellt zu sein, können in dem Zwischenraum 4 überdies Steuerungskomponenten, insbesondere Sensoren, zur Erfassung diverser Betriebsparameter und zumindest ein Elektronikbaustein zur Ansteuerung der Spulen des Elektromotors 13 untergebracht sein.

Der vorgeschlagene Drehantrieb lässt sich einbauen wie ein Wälzlager und besorgt gleichzeitig sowohl die Lagerung als auch den Antrieb von Maschinenteilen. Der Aufbau von Robotern, insbesondere Roboterarmen, erweist sich damit als außerordentlich einfach. Wegen des integrierten Untersetzungsgetriebes ist der Antrieb bei kompakter Bauweise erheblich stärker als ein gleich großer Direktantrieb. Da seine Teile überwiegend umeinander rollen, ist die innere Reibung gering. Bei mäßigem Untersetzungsverhältnis bleibt die Trägheit des Antriebs klein, vor allem, wenn der elektrische Rotor 11 zur Minimierung seines Trägheitsmoments als geschlitzter Eisenreifen realisiert ist. Der Luftspalt der Elektromaschine befindet sich zur Maximierung der magnetisch durchströmten Fläche vorteilhafterweise möglichst weit außen, so dass der Rotor 11 eine große Kraft entwickeln kann. Die genannte flache Wellenverzahnung der Zahnräder ist einfach herstellbar.

Jobb, Gangolf
D-81739 München

Elektromechanische Drehmaschine

Patentansprüche

1. Elektromechanische Drehmaschine mit einem Außenring (3) und einem Innenring (2), der in dem Außenring (3) angeordnet und relativ zu dem Außenring (3) drehbar gelagert ist, sowie einem elektromechanischen Energiewandler (12), der in einem ringförmigen Zwischenraum (4) zwischen Außen- und Innenring aufgenommen ist und einen Stator (17) sowie einen Rotor (11) aufweist, wobei zwischen dem Außenring (3) und dem Innenring (2) eine Getriebestufe (18) vorgesehen ist, durch die eine Drehbewegung des Rotors (11) relativ zu den Innen- und Außenringen (2, 3) in eine Relativedrehung des Außenrings (3) und des Innenrings (2) relativ zueinander und umgekehrt umsetzbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Getriebestufe (18) als Planetengetriebe ausgebildet ist, das zumindest einen Satz von Planetenrädern (8) mit jeweils zwei Wälzeingriffsabschnitten (9, 10) mit unterschiedlichen Teilkreisdurchmessern besitzt, von denen der eine mit dem Außen- und/oder Innenring (3, 1) und der andere mit dem Rotor (11) in Wälzeingriff steht.

2. Drehmaschine nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Getriebestufe (18) ein Radial- und/oder Axiallager bildet, durch das der Außenring (3) und der Innenring (2) relativ zueinander drehbar gelagert ist.
3. Drehmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Getriebestufe (18) ein Radial- und/oder Axiallager bildet, durch das der Rotor (11) des Energiewandlers (12) relativ zu dem Außenring (3) und/oder dem Innenring (2) drehbar gelagert ist.
4. Drehmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Rotor und/oder der Außenring (3) und/oder der Innenring (2) ausschließlich durch die Getriebestufe (18) drehbar gelagert ist und frei von separaten Radiallagern und/oder Axiallagern ausgebildet ist.
5. Drehmaschine nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Planetenräder (8) schwimmend zwischen dem Außenring (3) und dem Innenring (2) gelagert sind und sowohl mit einer Außenumfangsfläche des Innenrings (2) als auch einer Innenumfangsfläche des Außenrings (3) in Wälzeingriff stehen, insbesondere mit einer Außenverzahnung (7) des Innenrings (2) und einer Innenverzahnung (6) des Außenrings (3) kämmen.
6. Drehmaschine nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, wobei die Planetenräder (8) spielfrei zwischen dem Innenring (2) und dem Außenring (3) sitzen.
7. Drehmaschine nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, wobei die Planetenräder (8) Radiallager- und/oder Axiallagerkörper bilden, die Radialkräfte und/oder Axialkräfte zwischen dem Außenring (3) und dem Innenring (2) und/oder zwischen dem Rotor (11) und dem Außenring (3) und/oder dem Innenring (2) abtragen.

8. Drehmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Getriebebestufe (18) frei von Planetenradträgern ausgebildet ist.
9. Drehmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Planetenräder (8) mit einer Umfangsfläche, vorzugsweise einer Innenumfangsfläche des Rotors (11), in Wälzeingriff stehen, insbesondere mit einer Innenverzahnung (13) des Rotors (11) kämmen, wobei der Rotor (11) einen Teilkreisdurchmesser besitzt, der von den Teilkreisdurchmessern der Außen- und Innenringe (3, 2) abweicht.
10. Drehmaschine nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei der Teilkreisdurchmesser des Rotors (11) größer ist als die Teilkreisdurchmesser des Innenrings (2) und des Außenrings (3).
11. Drehmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Wälzeingriffsabschnitte der Planetenräder (8) von zwei Verzahnungen (9, 10) mit unterschiedlichen Teilkreisdurchmessern gebildet sind, wobei vorzugsweise die Außen- und Innenringe (3, 2) auf der Verzahnung (9) mit kleinerem und der Rotor (11) auf der Verzahnung (10) mit größerem Teilkreisdurchmesser abwälzen.
12. Drehmaschine nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Planetenräder (8) mit ihren Verzahnungen (10) mit größerem Teilkreisdurchmesser einander überlappend angeordnet sind.
13. Drehmaschine nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, wobei die Verzahnung (9) mit kleinerem Teilkreisdurchmesser zwei axial beabstandete Verzahnungsabschnitte (9a, 9b) aufweist, zwischen denen die Verzahnung (10) mit großem Teilkreisdurchmesser angeordnet ist, und wobei die Verzahnung (7) des Innenrings (2) oder des Außenrings (3) einen radialen Schlitz (14) aufweist, in dem die Verzahnung (10) der Planetenräder (8) mit größerem Teilkreis läuft, so dass die Planetenräder (8) über ihre beiden beabstandeten

Verzahnungsabschnitte (9a, 9b) mit jeweils kleinerem Teilkreisdurchmesser beidseitig der Verzahnung (10) mit größerem Teilkreisdurchmesser abgestützt sind.

14. Drehmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zwei Sätze von Planetenrädern (8) axial voneinander beabstandet zwischen dem Innenring (2) und dem Außenring (3) sitzen, vorzugsweise an den axialen Stirnseiten des Innenrings (2) und des Außenrings (3) angeordnet sind.
15. Drehmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Planetenräder (8) eine radialkraftabtragende Verzahnungsform besitzen.
16. Drehmaschine nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Planetenräder (8) eine sinusförmige Verzahnung aufweisen.
17. Drehmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei an den Planetenrädern (8) axiale Führungsflächen (15) vorgesehen sind, an denen der Innenring (2) und der Außenring (3) relativ zueinander axial geführt sind.
18. Drehmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Planetenräder (8) Schrägverzahnungen besitzen, wobei zwei Planetenradsätze mit gegenläufigen Schrägverzahnungen vorgesehen sind.
19. Drehmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Innenring (2) und der Außenring (3) jeweils ein halbschalenförmiges Gehäuseteil bilden, die gemeinsam den Energiewandler (12) und die Getriebestufe (18) umschließen.
20. Drehmaschine nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei zwischen den Gehäuseteilen eine Dichtung vorgesehen ist, die den Innenraum (4) zwischen den Gehäuseteilen abdichtet, wobei vorzugsweise eine fluiddichte Wellendichtung vorgesehen ist.

21. Drehmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Stator (17) des Energiewandlers (12) innenliegend und der Rotor (11) des Energiewandlers (12) außenliegend angeordnet ist.
22. Drehmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Rotor (11) einen Reifen mit axialen Längsschlitzen bildet.
23. Drehmaschine nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei der Rotor (11) in Stegen (22) zwischen den Schlitzen (23) weitere, feinere Schlitze zur Reduzierung von Wirbelstromverlusten besitzt.
24. Drehmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Energiewandler (12) einen Elektromotor bildet.
25. Drehmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 24, wobei der Energiewandler (12) einen Generator bildet.
26. Drehmaschine nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei Erregerspulen und/oder Permanentmagnete im Stator (17) untergebracht sind.
27. Drehmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Energiewandler (12) als Synchronmaschine ausgebildet ist.
28. Drehmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 27, wobei der Energiewandler (12) als Asynchronmaschine ausgebildet ist.
29. Drehmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Energiewandler (12) nach dem Transversalfluss-Prinzip arbeitend ausgebildet ist.

30. Drehmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Innenring (2) und/oder der Außenring (3) zur Innenseite und/oder zur Außenseite hin Kühlrippen besitzen.
31. Drehmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei in dem Stator (17) eine Flüssigkeitskühlung integriert ist.
32. Drehmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Innenumfang des Innenrings (2) und/oder der Außenumfang des Außenrings (3) als Profiwelle ausgebildet ist, so dass der Innenring (2) und/oder der Außenring (3) formschlüssig drehfest auf eine Welle und/oder eine Halterung aufsteckbar ist.
33. Drehmaschine nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei an den Stirnseiten des Innenrings (2) und/oder des Außenrings (3) elektrische Steckverbindungen vorgesehen sind.
34. Drehmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Zwischenraum (4) zwischen dem Innenring (2) und dem Außenring (3) zumindest teilweise mit Schmierstoff gefüllt ist.
35. Drehmaschine nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei in dem Zwischenraum (4) ein Schmierstoffbad vorgesehen ist, durch das die Getrieberäder der Getriebestufe (18) laufen.
36. Drehmaschine nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, wobei in dem Innenraum (4) zwischen Innenring (2) und Außenring (3) Schmierstoffverteiler, vorzugsweise umlaufende Bürsten, vorgesehen sind.
37. Drehmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei in dem Zwischenraum (4) zwischen dem Innenring (2) und dem Außenring (3) Steuerungsbauteile, insbesondere Sensoren zur Bestimmung einer Rotorlage, einer Drehrichtung, einer Drehzahl, eines Drehmoments, einer Temperatur, einer

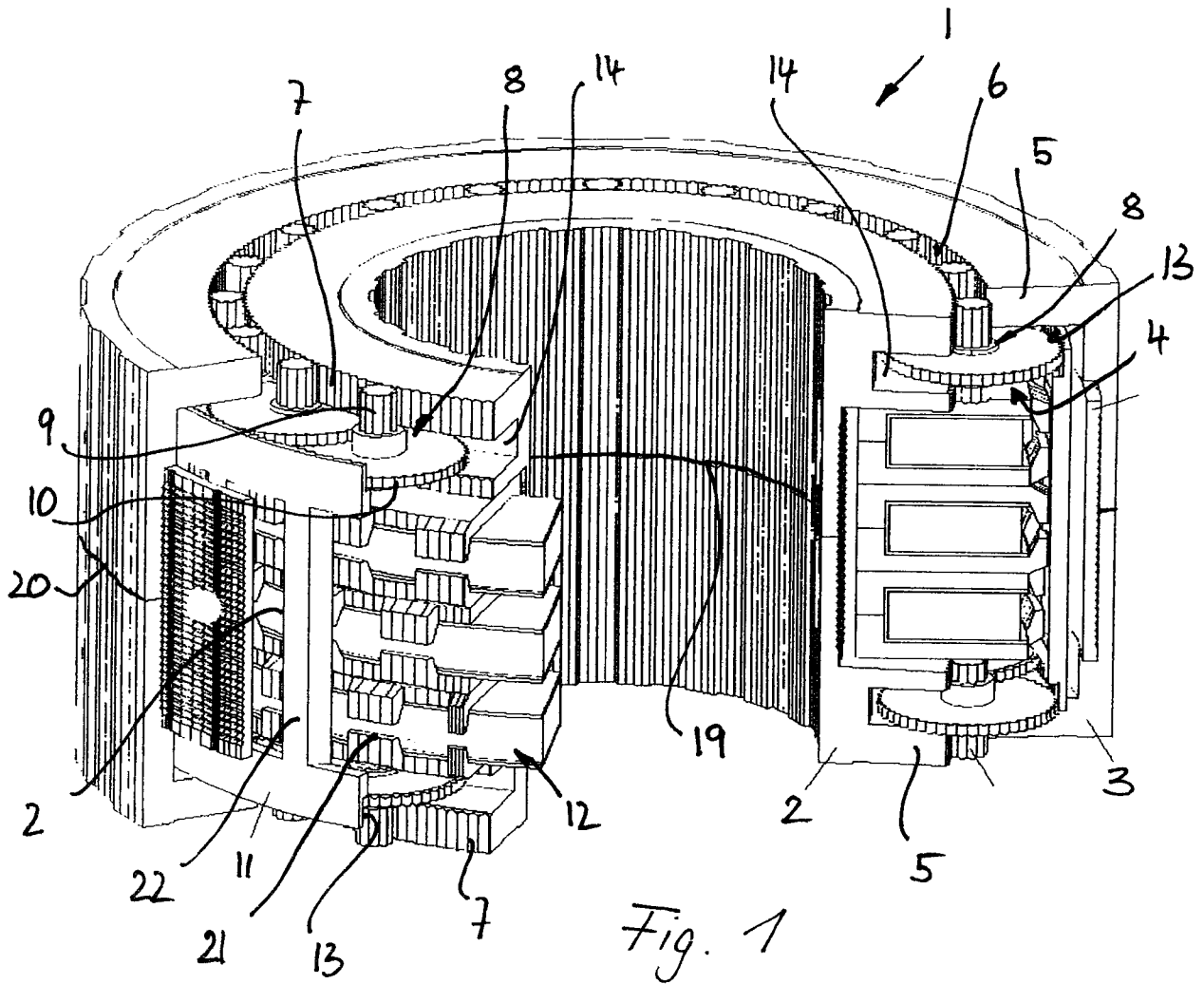
Lagerlast, eines Innendrucks, eines Schmierzustands und/oder weiterer Betriebsparameter, und/oder zumindest ein Elektronikbaustein zur Ansteuerung des elektromagnetischen Energiewandlers (12), vorgesehen sind.

Jobb, Gangolf
D-81739 München

Elektromechanische Drehmaschine

Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine elektromechanische Drehmaschine, vorzugsweise einen Drehantrieb, mit einem Außenring und einem Innenring, der in dem Außenring angeordnet und relativ zu dem Außenring drehbar gelagert ist, sowie einem elektromechanischen Energiewandler, der in einem ringförmigen Zwischenraum zwischen Außen- und Innenring aufgenommen ist und einen Stator sowie einen Rotor aufweist, wobei zwischen dem Außenring und dem Innenring eine Getriebestufe vorgesehen ist, durch die eine Drehbewegung des Rotors relativ zu den Innen- und Außenringen in eine Relativdrehung des Außenrings und des Innenrings relativ zueinander und umgekehrt umsetzbar ist. Erfindungsgemäß zeichnet sich die Drehmaschine dadurch aus, daß die Getriebestufe als Planetengetriebe ausgebildet ist, das zumindest einen Satz von Planetenrädern mit jeweils zwei Wälzeingriffsabschnitten mit unterschiedlichen Teilkreisdurchmessern besitzt, von denen der eine mit dem Außen- und/oder Innenring und der andere mit dem Rotor in Wälzeingriff steht. Dabei sind die Planetenräder vorteilhafterweise tragend ausgebildet und fungieren als Lager zwischen Außen- und Innenring sowie Rotor.



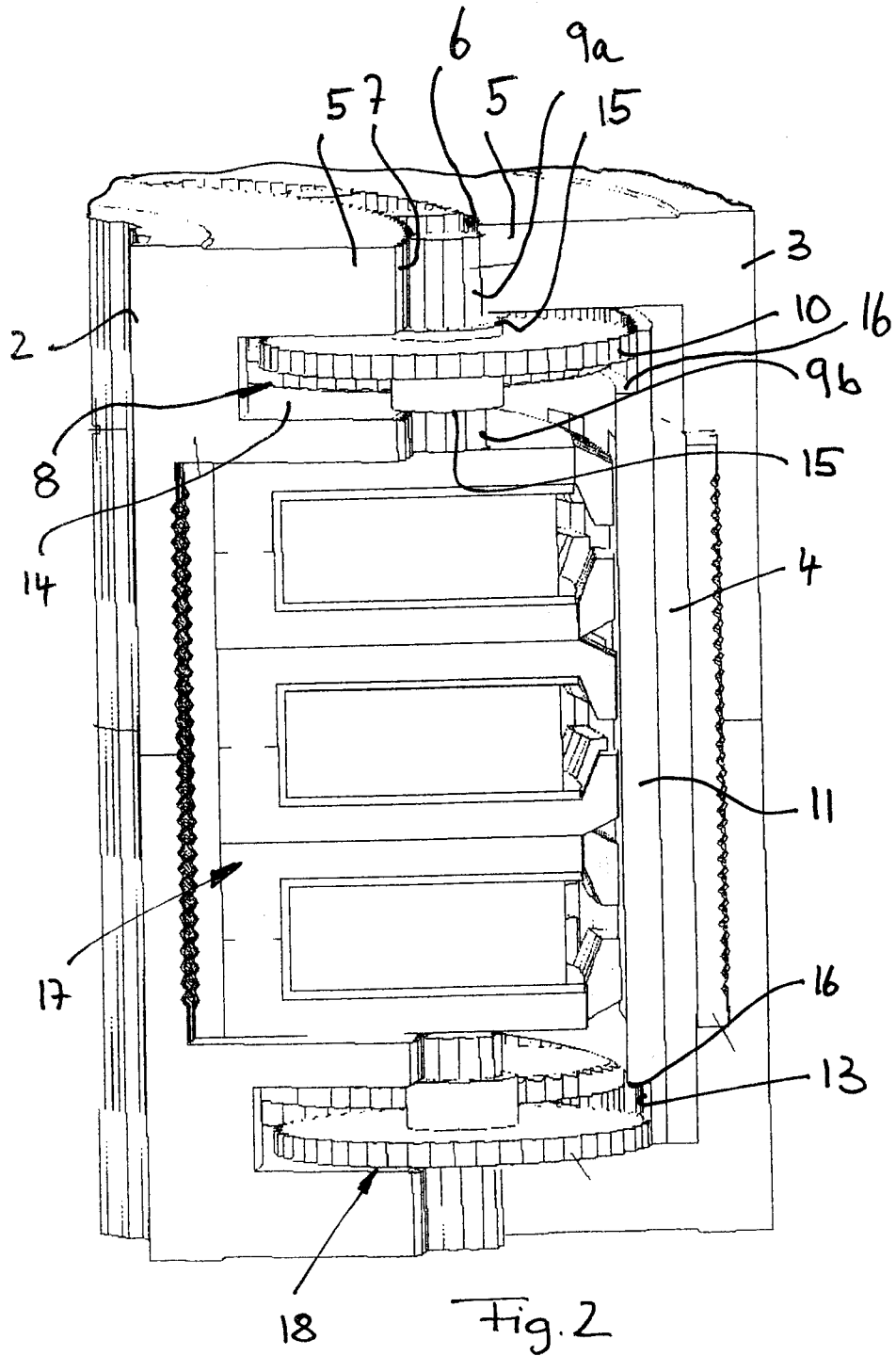
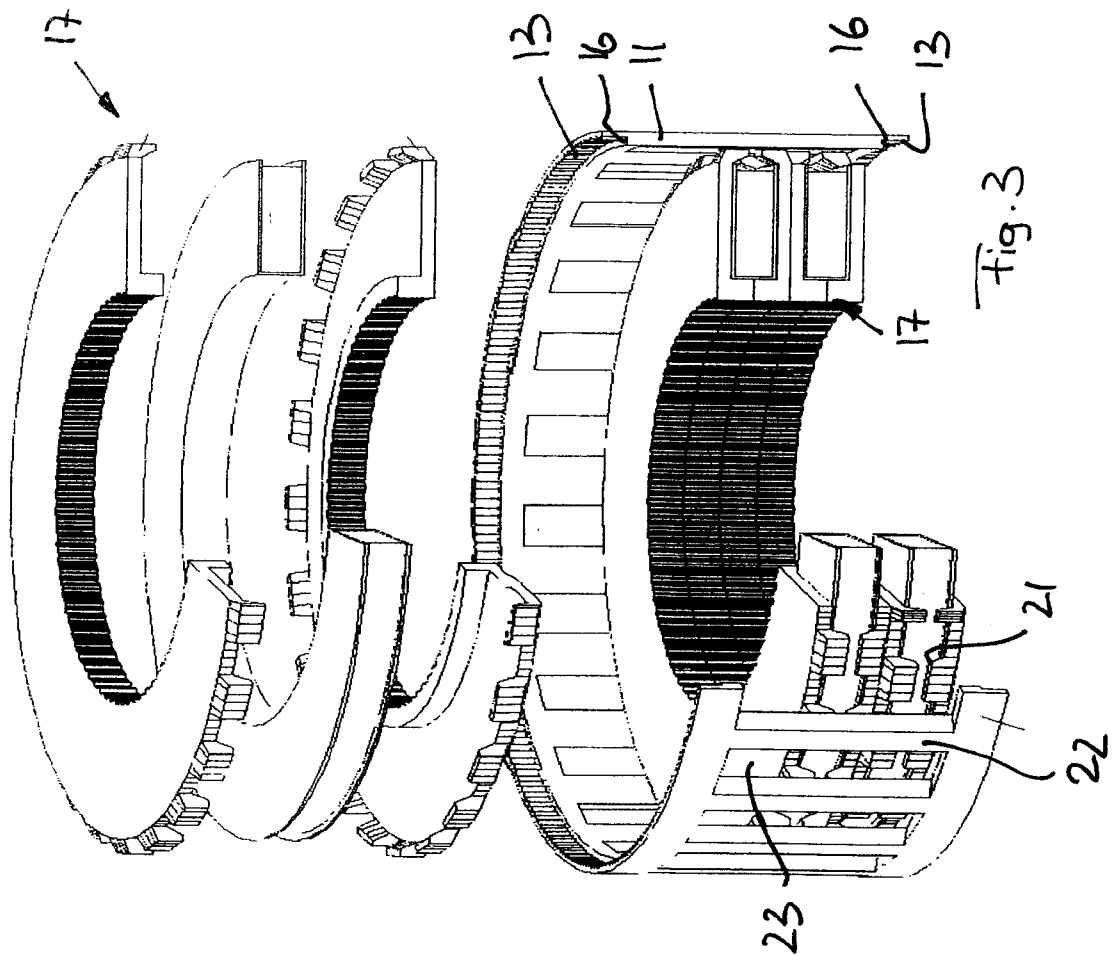


Fig. 2



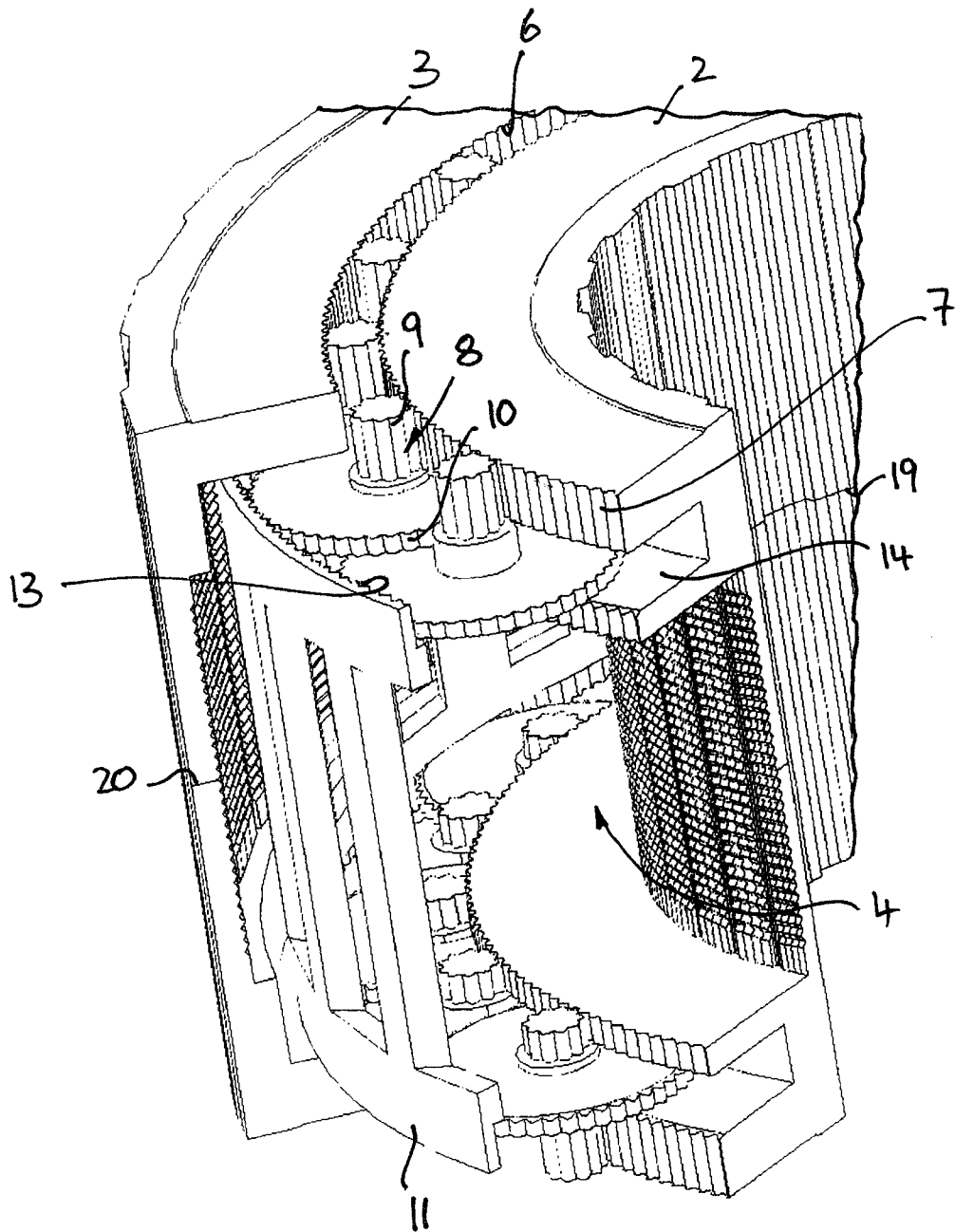


Fig. 4

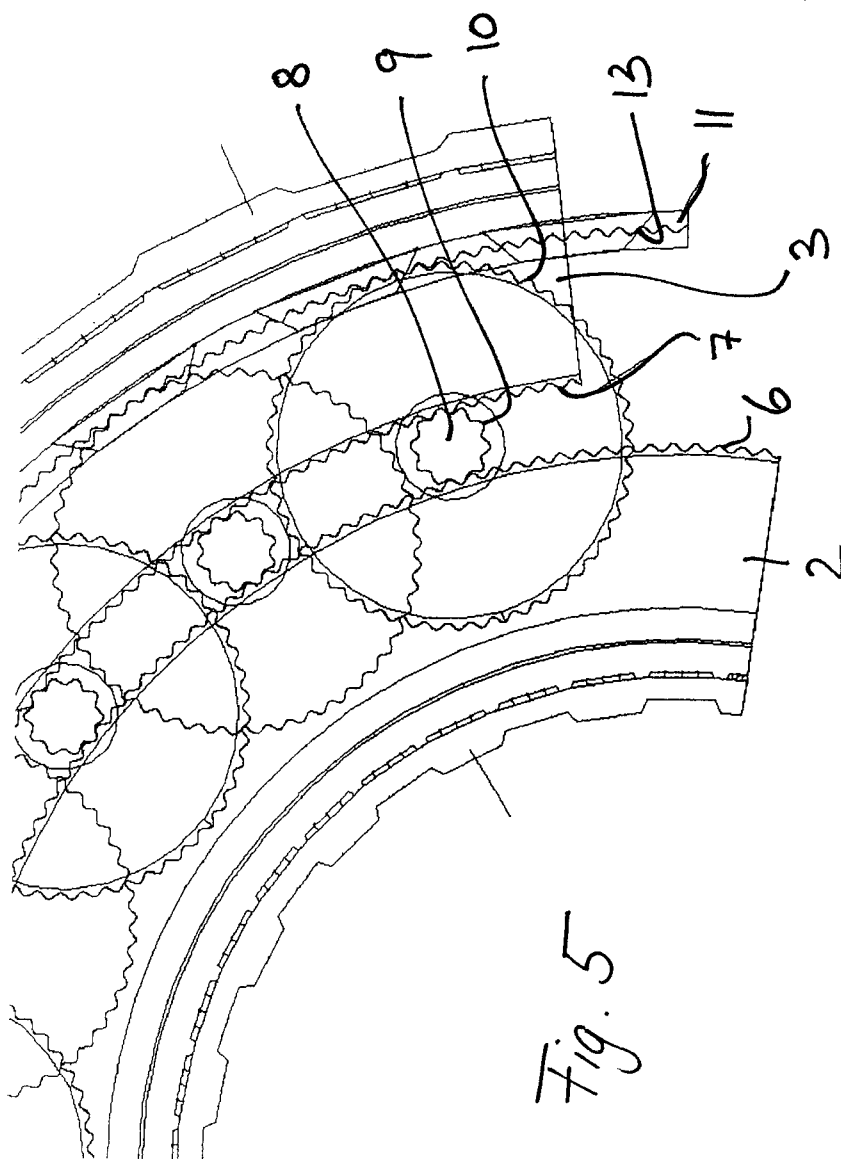


Fig. 5