

Elektromaschine für ein Wellenarray

Ziel dieser Erfindung ist allgemein eine verbesserte, mehrachsige Drehkolbenmaschine z.B. nach US2410341, FR1199521, DE19738132 und DE102006018183. Diese Drehkolbenarraymaschinen haben sich trotz ihrer konstruktiven Einfachheit, ihrer hohen Leistungsdichte und ihrer großen Laufruhe bislang nicht durchsetzen können, weil unter anderem die Verteilung einer äußeren Drehkraft auf die einzelnen Rotorwellen technisch noch nicht zufriedenstellend gelöst wurde. Eine vielversprechende Anwendung wäre die Stromgewinnung aus Sonnen- oder Erdwärme.

Ziel dieser Erfindung ist speziell die elektrische Einspeisung oder Ableitung von Wellenarbeit an einer Drehkolbenarraymaschine, an deren Wellenarray, also an einer regelmäßigen Anordnung von achsparallelen und drehsynchronisierten Wellen.

Die genannten Vorschläge beinhalten zumeist mechanische Sammelgetriebe, welche die Drehkräfte der einzelnen Rotorwellen z.B. mit Zahnrädern auf eine Arbeitswelle übertragen. Sie überlassen es dem Anwender, an dieser Arbeitswelle z.B. eine Elektromaschine anzuschließen. Zum elektrischen Antrieb eines Drehkolbenarrays wäre es jedoch günstiger, jede Rotorwelle mit einer eigenen Elektromaschine auszustatten. So könnte man das Sammelgetriebe einsparen, und auch die damit verbundenen Kosten und Schwierigkeiten. Der Vorschlag DE19738132 geht diesen Weg in Form eines elektronischen Synchronisiergetriebes, jedoch werden dort keinerlei Aussagen über Bauart und Optimierungsmöglichkeiten der zu verwendenden Elektromaschinen gemacht. Mit einer Vielzahl gewöhnlicher Elektromaschinen wäre der Antrieb jedoch wenig platzsparend und unnötig teuer.

Die vorliegende Erfindung vermeidet die genannten Nachteile des Standes der Technik und bildet letzteren in vorteilhafter Weise weiter.

Die Erfindung ist eine so genannte Array-Elektromaschine. Dabei handelt es sich um eine mehrachsige elektrische Maschine mit mehreren Läufern und einem gemeinsamen Stator, die gegenüber einer entsprechenden Anzahl einzelner Elektromaschinen sowohl in elektrischer als auch in mechanischer Hinsicht eine technische Einheit darstellt und verschiedene Synergieeffekte nutzt. Sie kann durchaus aus Teil- oder Einzelmaschinen zusammengesetzt sein, die für eine Verwendung im Array ausgelegt sind. Es wird auch eine auf das Array zugeschnittene Einzelmaschine vorgeschlagen, mit der sich eine hohe Leistungsdichte erzielen lässt.

Eine erfindungsgemäße Array-Elektromaschine ist in Figur 1 dargestellt. Die Läufer sind hier vielpolige Permanentmagnete, die direkt auf Wellen des anzutreibenden Wellenarrays sitzen und mit diesen drehfest verbunden sind. Die zugehörigen Elektromagnete des Stators sind auf einer gemeinsamen Trägerplatte befestigt, die sich über mehrere Drehlager ebenfalls direkt auf die Wellen stützt.

Jeder einzelne Statormagnet ist einphasig. Die in der Praxis meist in Mehrzahl vorhandenen, elektrischen Phasen verteilen sich erfindungsgemäß gleichmäßig auf die ebenfalls in Mehrzahl vorhandenen, einphasigen Elektromagnete, die hier an verschiedenen Wellen wirken. Die gegebene Kopplung der Wellen durch ein besonderes Getriebe gewährleistet ein harmonisches Zusammenwirken der Phasen. Elektromagnete gleicher Phase sind vorzugsweise zusammen geschaltet und bilden jeweils eine elektrische Einheit.

Figur 2 zeigt einen Schnitt durch einen der Statormagneten mit dem dazugehörigen Läufer, und wie diese auf einer Welle

gelagert sind. Figur 3 zeigt die den Magnetkreis bildenden Eisenteile alleine und die Magnetisierung des Läufers.

Figur 4 zeigt schließlich den Verlauf des Magnetflusses durch eine aufgeschnittene Einzelmaschine. Diese funktioniert als Transversalflussmaschine und könnte so auch einachsrig verwendet werden.

Dem Entwurf liegt die Aufgabe zu Grunde, bei einem durch die Nachbarmaschinen radial begrenzten Raum einen Innenläufer mit größtmöglichem Radius unterzubringen, um damit als Motor eine größtmögliche Drehkraft zu erzielen. Die axiale Ausdehnung der Einzelmaschine ist dagegen von untergeordneter Bedeutung.

Erfindungsgemäß und in charakteristischer Weise befindet sich die Magnetspule in axialer Richtung neben dem Läufer anstatt, wie sonst üblich, um diesen herum. Lediglich die Enden eines Klauenpolsystems umgeben den Läufer, wodurch der Radius des Statormagneten nur wenig größer ist als der des Läufers. Die Magnetspule befindet sich in einem weichmagnetischen Topf, der nach dem Läufer hin offen ist, und dessen Ränder einen inneren und einen äußeren Magnetpol darstellen. Auf jedem Magnetpol ist ein Kranz innerer bzw. äußerer Polzähne aufgesetzt, die den Magnetfluss in abwechselnder Polarität und über einen engen Luftspalt hinweg an den äußersten radialen Rand des Stators leiten.

Der weichmagnetische Spulentopf ist vorzugsweise aus einem Sintermaterial gefertigt, und die aufgesetzten Kränze von Polzähnen wegen der hohen mechanischen Belastung und der besseren Wärmeleitfähigkeit aus massivem Dynamoeisen. Letztere sind zur Unterbrechung von Wirbelströmen mit einem radial verlaufenden Spalt versehen.

Der Läufer ist zur Verringerung von Wirbelstromverlusten vorzugsweise aus elektrisch isolierten, dauermagnetischen Blechen oder dünnen Platten zusammengesetzt, die senkrecht zur

Drehachse stehen. Zur Verminderung einer ungewollten magnetischen Überbrückung des Arbeitsluftspalts über die Welle, die sehr nahe am Statortopf liegt und typischerweise aus Stahl besteht, können die radial äußeren Bereiche des Läufers gegenüber der Welle magnetisch isoliert sein, etwa durch eine dicke Kunststoffschicht.

Ansonsten könnte man verlustarme Magnetkreiselemente in vielfältiger Weise mit Kunstharz und Eisenfolie laminieren. Für rohrförmige Bereiche derselben könnte man Eisenfolie mit Zwischenlagen aus elektrisch isolierendem Glasfasergewebe zu einem Rohr wickeln und verkleben, wobei man die Folie zur besseren Haftung des Harzes zuvor in einem Säurebad aufraut, oder mechanisch fein perforiert, oder zuerst mit dem Gewebe vernäht. Man könnte auch nur Eisenfolie wickeln, dann müsste man diese zuvor elektrisch isolieren, zum Beispiel mit einer dünnen Lackschicht. Auch Platten und konische Rohre ließen sich so leicht herstellen.

Eine größere Formenvielfalt ließe sich mit weichmagnetischem Folienband erzielen, sofern dieses ausreichend schmal ist. Man würde etwa ein eisernes Folienband zusammen mit flüssigem Kunstharz und vielleicht auch einem Glasfaserband über einen Formkörper wickeln, den man nach dem Aushärten des Harzes entfernt. Man würde das Folienband vorzugsweise entlang der magnetischen Feldlinien führen, es möglicherweise zuvor chemisch aufrauen, perforieren, lackieren, mit Gewebe benähen oder umhüllen oder umwickeln, und man könnte aus dem ausgehärteten Laminat nachträglich Polzähne herausarbeiten.

Eine noch größere Formenvielfalt und mit viel weniger Aufwand verspricht eine Suspension von weichmagnetischen Partikeln in flüssigem Kunstharz, insbesondere von passiviertem Eisenpulver. Damit könnte man Magnetkreiselemente gießen, sogar mit Polzähnen und Kühlkanälen, sogar einteilig um eine

fertig gewickelte Spule herum. Die Partikelgrößen sind dabei so gemischt, dass sich ein hoher Eisenanteil ergibt, die Suspension aber dennoch fließfähig bleibt. Die Partikel sind mit einer chemisch aufgebracht, dünnen, elektrisch isolierenden Schutzschicht versehen, um Wirbelströme zu vermeiden. Das Aushärten der Harzmischung erfolgt vorzugsweise unter zeitweisem Rütteln im Ziel-Magnetfeld, so dass sich die Partikel dort optimal ausrichten und dabei gleichzeitig das überschüssige Harz aus ihren Zwischenräumen herauspressen. Magnetische Partikel ordnen sich nämlich in einem Magnetfeld gerade so an, dass sich der magnetische Fluss durch sie maximiert, und nach dem Aushärten des Harzes verbleiben sie so. Das Aushärten kann alternativ oder zusätzlich auch in einer Zentrifuge stattfinden, wobei die Partikel unter Einwirkung der Fliehkraft an einer formbestimmenden Außenwand sedimentieren und sich dort verdichten, während nach innen hin das leichtere, überschüssige Kunstharz abfließt.

Wicklung und Eisenteile der Elektromaschine sollten gekühlt werden, etwa indem man mit Hilfe eines Kompressors Frischluft durch eigens dafür vorgesehene Kanäle und Spalten saugt, insbesondere durch die meist ohnehin vorhandene Spalte zwischen Magnettopf und Wicklung. Wenn eine angetriebene Drehkolbenmaschine wenigstens teilweise als Luftkompressor konzipiert ist, dann kann man die Kühlluft vorzugsweise vom Ansaugstrom der Drehkolbenmaschine abzweigen.

Besonders große Läufer mit einer besonders großen Hebelwirkung lassen sich in dem Array unterbringen, wenn man diese in wenigstens zwei axial versetzten Ebenen anordnet, und zwar so, dass jeweils benachbarte Läufer sich auf verschiedenen Ebenen befinden.

Mit vorliegender Erfindung werden die folgenden Vorteile erreicht.

Die Array-Elektromaschine besteht aus deutlich weniger Teilen als eine entsprechende Anzahl herkömmlicher Elektromaschinen. Sie hat keine eigenen Wellen und nur halb so viele oder sogar weniger Kugellager, weil ja das Wellenarray bereits gelagert ist. Es entfallen separate Gehäuse, separate Kühlung, separate Schaltelektronik etc., wodurch sich die Gesamtzahl der Teile erheblich verringert. Dies gilt insbesondere bei einer Mehrzahl elektrischer Phasen, da nicht jede Phase an jeder Welle vorhanden sein muss. Eine Phase pro Welle genügt, weil die Wellen mechanisch gekoppelt sind, und die komplementären Phasen sind im Array nicht weit. Bei typischerweise drei Phasen wird so nur ein Drittel der Wicklungen benötigt.

Die Array-Elektromaschine wird allein von dem Wellenarray getragen und benötigt daher auch keine kraftschlüssige Verbindung zu einem Maschinengehäuse. Ihre Montage ist daher ausgesprochen einfach.

Wichtiger als die genannten Synergieeffekte ist eine hohe erzielbare Leistungsdichte, insbesondere mit der vorgeschlagenen Transversalfluss-Einzelmaschine.

Im Gegensatz zu anderen Bauweisen, die als Motor bei begrenztem Maschinendurchmesser eine größtmögliche Drehkraft erreichen wollen, hat die hier vorgeschlagene Transversalflussmaschine einen Innenläufer.

Grundsätzlich verträgt ein Innenläufer wegen seiner kompakten Scheibenform und seinem sicheren Sitz auf der Welle weit größere Belastungen als ein zylinderförmiger Außenläufer, der von einer Haltescheibe seitlich absteht. Ein Innenläufer benötigt daher weniger Material und weniger Platz, und auch weniger Aufwand bei seiner Herstellung.

Vor allem aber befindet sich bei einer Innenläufermaschine die Wicklung außen, wo man sie leichter kühlen kann. Bei der

vorgeschlagenen Bauweise befinden sich zusätzlich auch noch die freistehenden Polzähne des Statormagneten an der Außenseite, wo sie guten Kontakt zur Umgebungsluft haben und daher wie Kühlrippen wirken, und der nahe Läufer wirkt an ihnen wie ein Ventilator. Gerade in einem Array, wo viele Elektromaschinen dicht gedrängt stehen, ist eine gute Kühlung besonders wichtig.

Die vorgeschlagene Transversalflussmaschine erreicht mit ihrem Innenläufer einen Durchmesser, der nur unwesentlich kleiner ist als der eines entsprechenden Außenläufers in dieser Situation, und damit beinahe die größtmögliche Hebelwirkung. Wegen der leichteren Kühlung und der damit verbundenen, größeren zulässigen Stromdichten dürfte sie aber dennoch als Motor eine größere Drehkraft entfalten. Der gegebene Raum zwischen benachbarten Einzelmaschinen wird optimal genutzt.

Die Polzahl der vorgeschlagenen Transversalflussmaschine ist in einem weiten Bereich frei wählbar und lässt sich an die jeweilige Anwendung anpassen.

Nachfolgend werden die Zeichnungen näher erläutert.

Figur 1 zeigt eine erfindungsgemäße Array-Elektromaschine in perspektivischer Darstellung. Sie besteht aus sechs Transversalfluss-Einzelmaschinen, die auf einer gemeinsamen Trägerplatte (8) montiert sind. Sechs Läufer (2) sind je einer Welle (7, nicht gezeichnet) zugeordnet. Jeder Läufer ist von einem Kranz Polzähne (3, 4) umstellt, die den Rändern einer Topfspule (5) entspringen.

Figur 2 zeigt einen perspektivischen Schnitt durch eine Transversalfluss-Einzelmaschine. Der permanentmagnetische Läufer (2) ist drehfest mit der Vierkantwelle (7) verbunden. Der Stator stützt sich über ein Kugellager (9) auf der Welle. Alle Komponenten sind in axialer Richtung mit Schraubkeilen

(11) und Abstandstücken (10) fixiert. Das Kugellager ist mit einem Sicherungsring am Stator befestigt. Man sieht, wie der innere Polzahn (3) zu dem inneren Rand des weichmagnetischen Spulentopfs (5) führt, in dem sich die Wicklung (6) befindet. Der äußere Polzahn (4) führt hingegen zum äußeren Rand des Spulentopfes. Der Spulentopf ist mit der Trägerplatte (8) verschweißt.

In Figur 3 sind die den Magnetkreis bildenden Eisenteile alleine. Oben ist der permanentmagnetische Läufer (2) mit seiner nach außen weisenden Polung. Das Vierkantloch ist zur Befestigung auf der Welle. Unten, im Schnitt, ist der weichmagnetische Spulentopf (5) mit den aufgesetzten Kränzen von inneren (3) und äußeren (4) Polzähnen, wie sie in abwechselnder Folge den Platz des Läufers umstellen.

Figur 4 zeigt den Verlauf des Magnetflusses durch die Transversalflussmaschine als gestrichelte Linie. Bei einer Verwendung der Maschine als Stromgenerator, etwa, wird der Magnetfluss von dem permanentmagnetischen Läufer (2) erregt und über den Arbeitsluftspalt (1) hinweg in die Polzähne (3, 4) eingespeist. Dabei liegen innere (3) und äußere (4) Polzähnen immer an Läuferpolen entgegengesetzter Polarität. Von den Polzähnen aus verläuft der Magnetfluss dann durch den Spulentopf (5) um die Wicklung (6) herum, wo er entsprechend seiner zeitlichen Änderung eine Wechselspannung induziert.

Patentansprüche

1. Mehrachsige elektrische Maschine mit einer Mehrzahl achsparalleler Läufer und einem gemeinsamen Stator,

wobei der Stator eine oder mehrere Wicklungen umfasst, die einer oder mehreren elektrischen Phasen zugeordnet sind, und außerdem ein oder mehrere Magnetkreiselemente, die einen von den Wicklungen erzeugten Magnetfluss über Luftspalte zu den Läufern leiten,

wobei die Läufer drehfest auf Wellen montiert sind, die einem Wellenarray angehören, also einem System drehbar gelagerter, achsparalleler und in ihrer Drehbewegung gekoppelter Wellen, die in der gemeinsamen Lotebene ihrer Achsen regelmäßig angeordnet sind, und zwar derart, dass entweder je vier benachbarte Fußpunkte die Ecken eines Quadrats bilden, oder je drei benachbarte Fußpunkte die Ecken eines gleichseitigen Dreiecks, oder dass wenigstens je zwei benachbarte Fußpunkte gleiche Abstände haben,

wobei der Abstand benachbarter Wellen nicht größer ist als der vierfache Durchmesser des größten Läufers,

wobei die Kopplung der Wellen durch ein eigens dafür vorgesehenes, mechanisches Getriebe erfolgt, derart, dass alle Wellen sich gleichsinnig und mit gleicher Winkelgeschwindigkeit drehen, und dass eine an einer Welle eingespeiste Drehkraft sich auf alle anderen Wellen überträgt,

dadurch gekennzeichnet,

dass wenigstens zwei Wicklungen, deren durchlaufende Magnetflüsse mit verschiedenen Läufern zusammenwirken, zu einer elektrischen Einheit zusammengeschaltet sind,

oder dass wenigstens ein eine Wicklung durchlaufender Magnetfluss sich aufteilt und mit mehr als einem Läufer zusammenwirkt,

oder dass bei Vorhandensein mehrerer elektrischer Phasen diese nicht alle zusammen an ein und derselben Welle wirken.

2. Elektrische Maschine nach Anspruch 1, wobei wenigstens ein Läufer effektiv ein vielpoliger Dauermagnet ist, dessen Pole in abwechselnder Polarität radial nach außen weisen.
3. Elektrische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der gemeinsame Stator sich mit wenigstens zwei Drehlagern auf dem Wellenarray stützt und allein von diesem getragen wird, so dass insbesondere keine kraftschlüssige Verbindung etwa zu einem Maschinengehäuse erforderlich ist.
4. Elektrische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei sich wenigstens ein Drehlager zwischen einem Läufer und einer zugehörigen Wicklung befindet.
5. Elektrische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei jedem Läufer eine eigene Wicklung und ein eigener Magnetkreis zugeordnet sind.
6. Elektrische Maschine nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei sich die Wicklung jedes Magnetkreises in axialer

Richtung neben dem zugehörigen Läufer befindet, und zwar in einem weichmagnetischen Topf, der nach dem Läufer hin offen ist und dessen Ränder einen inneren und einen äußeren Magnetpol darstellen, jeder Magnetpol mit einem Kranz innerer oder äußerer Polzähne besetzt, die den Magnetfluss in abwechselnder Polarität und über einen engen Luftspalt hinweg an den äußersten radialen Rand des Läufers leiten.

7. Elektrische Maschine nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei der weichmagnetische Topf vorzugsweise aus einem Sintermaterial gefertigt ist, wobei die aufgesetzten Polzähne vorzugsweise aus massivem Dynamoeisen bestehen und in Umfangsrichtung wenigstens einmal elektrisch unterbrochen sind.
8. Elektrische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Verminderung von magnetischem Nebenschluss die radial äußeren Bereiche eines Läufers gegenüber seiner Welle magnetisch isoliert sind, etwa durch eine dicke Kunststoffschicht.
9. Elektrische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Verminderung von Wirbelstromverlusten ein dauermagnetischer Läufer wenigstens teilweise aus elektrisch isolierten, dauermagnetischen Blechen oder dünnen Platten zusammengesetzt ist, die senkrecht zur Drehachse stehen.
10. Elektrische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Verminderung von Wirbelstromverlusten wenigstens ein rohrförmiger Bereiche eines Magnetkreiselementes aus einem Rohr hergestellt ist, welches aus aufgewickelter, elektrisch isolierter und vorzugsweise durch Verkleben fixierter Eisenfolie besteht, oder auch aus einem anderen

weichmagnetischen Material in Folienform, wobei diese Folie zur besseren Haftung des Klebstoffs zuvor in einem Säurebad aufgeraut wird, oder mechanisch fein perforiert, und es können auch Lagen aus Papier oder Glasfasergewebe oder aus einem anderen Material dazwischen gelegt oder aufgenäht sein.

11. Elektrische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Verminderung von Wirbelstromverlusten wenigstens ein Teil eines Magnetkreiselementes aus einem ausreichend schmalen, weichmagnetischen Folienband laminiert ist, zum Beispiel aus Eisen-Folienband, welches man zusammen mit flüssigem Kunstharz und vielleicht weiteren Gewebe- oder Folienbändern aus anderen Materialien über einen Formkörper wickelt, den man vorzugsweise nach dem Aushärten des Harzes entfernt, wobei man das Folienband vorzugsweise entlang der magnetischen Feldlinien führt, es möglicherweise zuvor chemisch aufgeraut, perforiert, lackiert, mit Gewebe benäht oder umhüllt oder umwickelt, und man möglicherweise aus dem ausgehärteten Laminat nachträglich Polzähne herausarbeitet.

12. Elektrische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Verminderung von Wirbelstromverlusten wenigstens ein Teil eines Magnetkreiselementes hergestellt ist aus einer Suspension von weichmagnetischen Partikeln in flüssigem Kunstharz, insbesondere von passiviertem Eisenpulver unterschiedlicher Körnung, wobei die Partikel also vorzugsweise mit einer chemisch aufgetragenen, dünnen, elektrisch isolierenden Schutzschicht versehen sind, und wobei die Aushärtung vorzugsweise und vorzugsweise unter zeitweisem Rütteln im Ziel-Magnetfeld erfolgt, so dass sich die Partikel dort optimal ausrichten und dabei

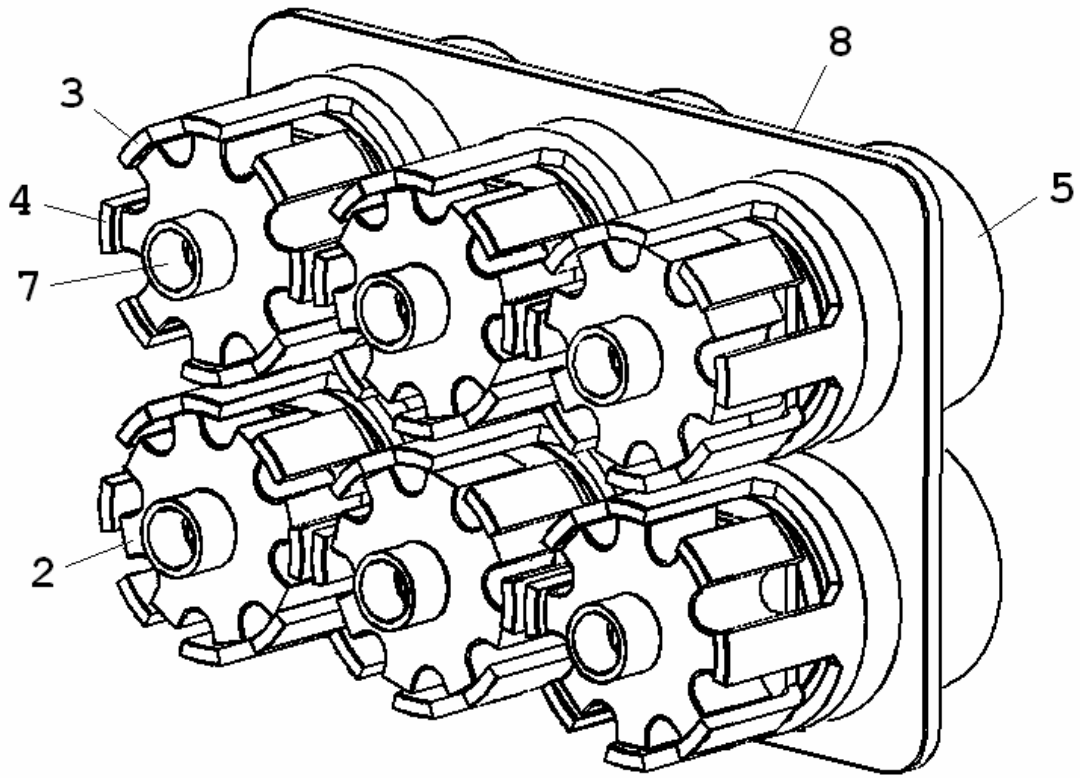
gleichzeitig das überschüssige Harz aus ihren Zwischenräumen herauspressen.

13. Elektrische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Läufer in wenigstens zwei axial versetzten Ebenen angeordnet sind, und zwar so, dass jeweils benachbarte Läufer sich auf verschiedenen Ebenen befinden.

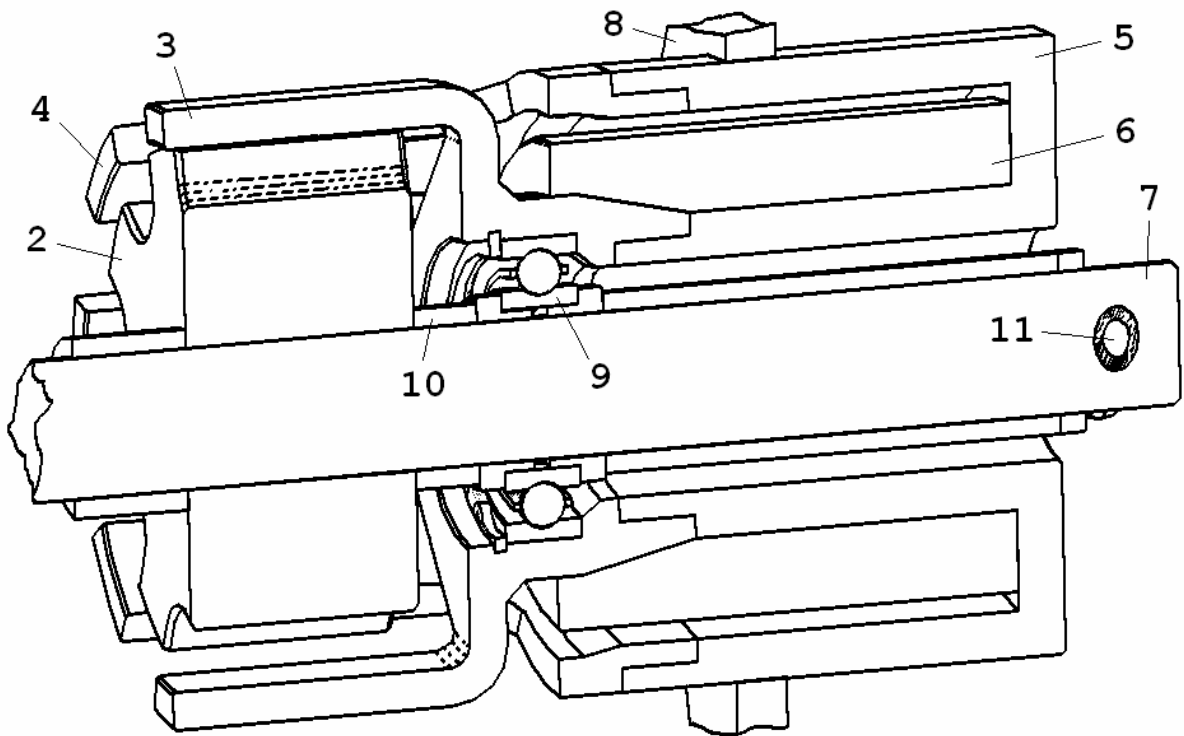
14. Variante einer Elektrische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei deren Bauweise und insbesondere deren Magnetkreisanordnung durch wenigstens eine repetitive oder spiegelsymmetrische Ergänzung aus einer der zuvor beschriebenen Bauweisen hervor geht.

Zusammenfassung

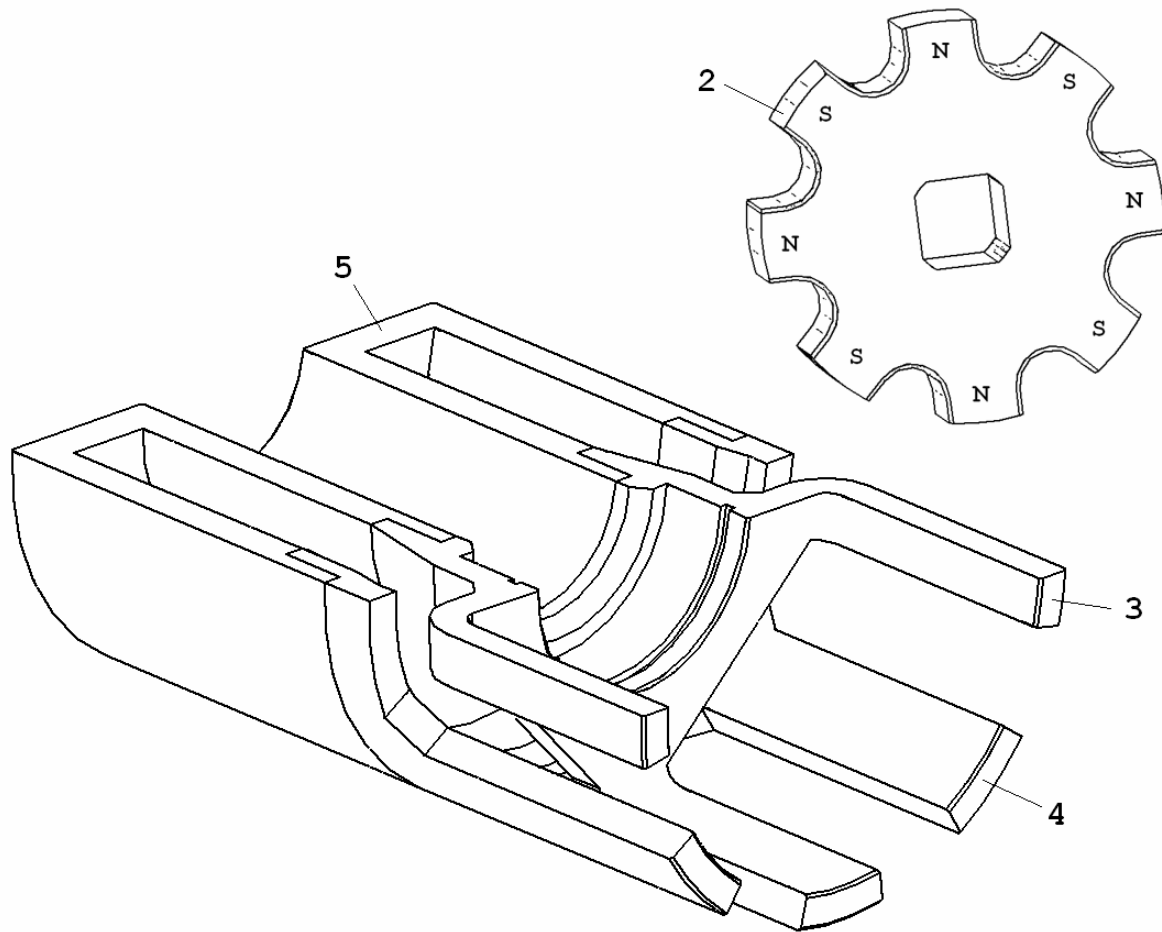
Die Erfindung betrifft eine mehrachsige elektrische Maschine mit einer Mehrzahl achsparalleler Läufer und einem gemeinsamen Stator, und zwar zur elektrischen Einspeisung oder Ableitung von Wellenarbeit an einem Wellenarray. Es wird eine auf das Array zugeschnittene Magnetkreisanordnung vorgeschlagen, mit der sich eine hohe Leistungsdichte erzielen lässt.



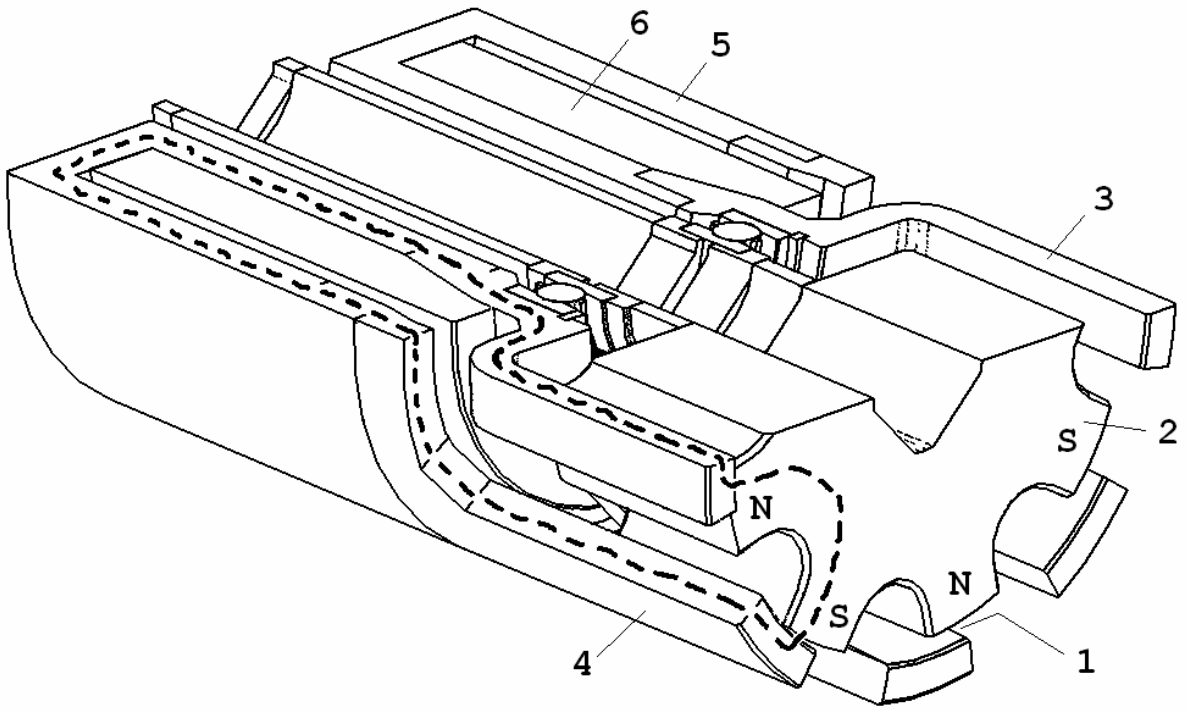
Figur 1. Array-Elektromaschine.



Figur 2. Schnitt durch eine Einzelmaschine.



Figur 3. Eisenteile des Magnetkreises.



Figur 4. Magnetfluss.