



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 600 36 332 T2 2008.06.05

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 065 783 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 600 36 332.5

(96) Europäisches Aktenzeichen: 00 305 466.5

(96) Europäischer Anmeldetag: 29.06.2000

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 03.01.2001

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 12.09.2007

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 05.06.2008

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: H02K 13/04 (2006.01)

H02K 13/02 (2006.01)

H02K 13/00 (2006.01)

H02K 13/12 (2006.01)

H01R 39/44 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

342571 29.06.1999 US

(73) Patentinhaber:

General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

(74) Vertreter:

Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

(84) Benannte Vertragsstaaten:

CH, DE, FR, GB, LI

(72) Erfinder:

Kliman, Gerald Burt, Niskayuna, New York 12309, US; Salasoo, Lembit, Schenectady, New York 12309, US; Shah, Manoj Ramprasad, Latham, New York 12110, US; Weeber, Konrad Roman, Rexford, New York 12148, US; Johnson, Melvin George, Peterborough, Ontario K9H 1E6, CA; Barton, Richard Kenneth, Erie, Pennsylvania 16509, US

(54) Bezeichnung: Schleifring- und Bürstenanordnung sowie Verfahren

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft allgemein Hochstrommaschinen und im Besonderen Schleifringbürsten-

systeme.  
**[0002]** In Hochstrommaschinen mit variabler Drehzahl, wie sie in dem Runkle et al. gemeinsam erteilten US-Patent 5 742 515 beschrieben sind, werden Rotoren durch elektrisch leitende Schleifringanordnungen erregt. Herkömmliche Schleifring- und Bürstenvorrichtungen übertragen Leistung bei niedriger Spannung, maßvollen Stromstärken und verhältnismäßig hohen Drehzahlen. Es wäre von Vorteil, über Vorrichtungen verfügen zu können, die in der Lage sind, auch bei geringen Drehzahlen (von etwa Null (0) bis ungefähr Einhundert (100) Umdrehungen pro Minute) mehrere tausend Ampere zu verkraften. In herkömmlichen Schleifring- und Bürsten vorrichtungen kann ein Rotieren mit geringen Drehzahlen zu örtlich begrenzter Überhitzung, Riefenbildung und Verformung führen.

**[0003]** Das GB-Patent 1 157 885 von Brown, Boveri & Co. Ltd. beschreibt eine Technik, die dazu dient, "die Bürsten zu einer Vorwärts- und Rückwärtsbewegung zu veranlassen", indem "eine Einrichtung verwendet wird, die eine periodische Drehbewegung der Teile der Maschine hervorbringt, an denen die Bürsten befestigt sind". Um diese Bewegung zu erzielen, "sind Bürstenbrücken mit der Ausgangswelle eines Differentialgetriebes verbunden, das die Position der Bürsten ändert, und eine Eingangswelle zu diesem Getriebe ist mit Mitteln zum Verändern der mittigen Position der Bürstenbrücke ausgerüstet, wobei eine zweite Eingangswelle zu diesem Getriebe mit Mitteln versehen ist, die dazu dienen, eine periodisch Vorwärts- und Rückwärtsrotation mit variabler Amplitude hervorzurufen". Auf diese Weise wird eine azimutale Bewegung erzielt. Die aus dieser Technik sich ergebende Anordnung lässt sich bei hohen elektrischen Spannungen nur schwer steuern und betreiben.

**[0004]** In "Rotaryg Converters" von Westinghouse Electric & Manufacturing Co., Rundbrief Nr. 1028, April 1903, ist ein Ausführungsbeispiel beschrieben, bei dem eine axiale Bewegung zwischen Bürsten und einem auf einer Rotorwelle angeordneten Kommutator erzielt wird, indem der gesamte Rotor in einer oszillierischen Weise axial bewegt wird. Ein Bewegen der gesamten Rotorwelle ist schwerfällig, kann Schäden hervorrufen, erfordert einen erheblichen Kraftaufwand und kann die Amplitude der Bewegung begrenzen.

**[0005]** Andere Nachteile von mit variablen hohen Drehzahlen arbeitenden Maschinen betreffen die ungleichmäßige Stromverteilung in den mit den Schleifringen in Kontakt stehenden Bürsten sowie in den Rotorwicklungsanschlussleitungen, die die Rotor-

wicklungen mit den Schleifringen verbinden. Da die Bürsten gewöhnlich über eine einzige gemeinsame elektrische Anschlussleitung angeschlossen sind, weisen die Bürsten in Abhängigkeit von ihrer Nähe zu der Anschlussleitung unterschiedliche Stromstärken auf. Die Rotorwicklungen werden außerdem vor dem Anbringen an den Schleifringen miteinander verschaltet, und es ergeben sich in ähnlicher Weise unterschiedliche Stromstärken. Obwohl die Statoren in manchen Fällen mittels voneinander unabhängigen Anschlussleitungen mit stationären Anschlussringen verbunden sind, wie es in Lawrence, Principles of Alternating Current Machinery, 4. Ausg., McGraw-Rill Book Co. 1953, gezeigt ist, werden solche Konfigurationen nicht für Schleifringe von Maschinen mit gewickeltem Rotor genutzt.

**[0006]** Das US-Patent 3 060 397 beschreibt eine Anordnung, die Bürsten oszillierend bewegt, und im Besonderen eine kompakte Bürsten- und Schleifringeinheit, die die Wirkung der Coulombschen Reibung bewältigt.

**[0007]** Das Patent DE 9 37 244 beschreibt einen Mechanismus, der dazu dient, Hochstrommaschinen Strom zuzuführen.

**[0008]** Somit besteht ein Bedarf nach einer zuverlässigen, verlustarmen Schleifringbürstenvorrichtung, die in der Lage ist, auf effiziente Weise ohne den Einsatz eines Getriebes einen hohen Strom- und Spannungspegel mit einer niedrigen Drehzahl in Einklang zu bringen. Es wäre außerdem von Vorteil, über eine Schleifringbürstenvorrichtung verfügen zu können, die in der Lage ist, den Strom über die Bürsten und Schleifringe hinweg gleichmäßig zu verteilen.

**[0009]** Gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird eine Bürste für einen Schleifring mittels eines elektrischen oder Druckstellglieds betätigt, das als ein Hilfsantrieb dient, um eine Relativbewegung zwischen der Bürste und dem Schleifring hervorzurufen.

**[0010]** Gemäß noch einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird der Strom mittels Änderungen der Induktivität oder durch ein selektives Koppen von Rotorwicklungen an die Schleifringe verteilt.

**[0011]** Die Erfindung wird am leichtesten verständlich nach dem Lesen der folgenden Beschreibung in Verbindung mit den beigefügten Figuren, in denen gleichartige Bezugszeichen gleichartige Komponenten repräsentieren:

**[0012]** [Fig. 1](#) zeigt in einer Draufsicht eine Schleifringbürstenvorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

**[0013]** [Fig. 2-Fig. 4](#) zeigen Seitenansichten von

Schleifringbürstenvorrichtungen gemäß weiteren Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung.

[0014] [Fig. 5](#)-[Fig. 6](#) veranschaulichen in Block- und Funktionsdiagrammen ein Steuerungsverfahren der vorliegenden Erfindung.

[0015] [Fig. 7](#)-[Fig. 9](#) zeigen in einer geschnittenen Seitenansicht ein Schwingspulenstellglied und Vorder- und Seitenansichten von Schleifringbürstenvorrichtungen gemäß weiteren Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung unter Verwendung eines Schwingspulenstellglieds.

[0016] [Fig. 10](#) zeigt eine Draufsicht einer Schleifringbürstenvorrichtung gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

[0017] [Fig. 11](#) und [Fig. 12](#) zeigen Seitenansichten einiger Ausführungsformen von Induktoren zum Einsatz in dem Ausführungsbeispiel von [Fig. 10](#).

[0018] [Fig. 13](#) zeigt eine schematische perspektivische Ansicht einer Anordnung mit Rotorwicklungsanschlussleitungen, die Rotorwicklungen mit Schleifringen verbinden, gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

[0019] [Fig. 14](#) und [Fig. 15](#) zeigen schematische perspektivische Ansichten von Vorrichtungen mit Rotorwicklungsanschlussleitungen, die Rotorwicklungen mit Schleifringen verbinden, gemäß weiteren Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung.

[0020] [Fig. 16](#)-[Fig. 18](#) zeigen Schaltschemata, die einige unterschiedliche Verwirklichungen der Schaltung für die erfindungsgemäßen Kopplung von Schleifringen veranschaulichen.

[0021] [Fig. 19](#) und [Fig. 20](#) zeigen ein Schaltschema bzw. eine schematische perspektivische Ansicht eines Beispiels eines Ausführungsbeispiels mit einer sechspoligen Wicklung der vorliegenden Erfindung.

[0022] [Fig. 21](#) und [Fig. 22](#) zeigen in Seitenansichten zwei Druckstellglieder, die in Ausführungsbeispielen der in [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#) dargestellten Art verwendet werden können.

[0023] [Fig. 1](#) zeigt in einer Draufsicht eine Schleifringbürstenvorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, wobei wenigstens eine elektrisch leitende Bürste **14** (mit einem elektrischen Anschluss **16**) wenigstens einem Schleifring **12** Strom zuführt, und wobei ein (in [Fig. 2](#)-[Fig. 3](#) gezeigtes) elektrisches Stellglied **22** oder **122** die Stellung der wenigstens einen Bürste gegenüber dem wenigstens einen Schleifring oszillierend wechselt. [Fig. 2](#)-[Fig. 4](#) zeigen Seitenansichten von Schleifringbürstenvorrichtungen gemäß weiteren

Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung.

[0024] Im Allgemeinen basiert die Bürste **14** auf einem Material wie Kohlenstoff, und der Schleifring **12** auf einem Material Wie Messing oder Kupfer. Der Schleifring **12** ist mit einer Rotorwelle **13** verbunden. Wenn die Rotorwelle **13** sich sehr langsam in die eine oder andere Richtung dreht oder vollständig angehalten ist, können hohe Stromdichten eine lokale Überhitzung des Schleifrings und/oder der Bürsten hervorrufen. Im Allgemeinen werden mehrere Bürsten **14** so angeordnet, dass sie im Wesentlichen den gesamten Umfang des Schleifrings **12** abdecken. Auch wenn im Falle von mehrere Bürsten verwendenden Ausführungsbeispielen die Stromstärke weniger konzentriert ist, kann der Schleifring dennoch örtlich überhitzt und beschädigt werden. Der Einsatz eines elektrischen Stellglieds, um die Bürsten, wie nachstehend anhand einiger Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung beschrieben, azimuthal und/oder axial oszillierend zu bewegen, ist eine effiziente und vorteilhafte Technik, um solche Überhitzungen und Beschädigungen zu verhindern.

[0025] Typischerweise sind mehrere Bürsten mit einem Tragrahmen **20** verbunden. Wie deutlicher in [Fig. 2](#) gezeigt, kann der Tragrahmen genutzt werden, um Bürstenhalter **15** zu tragen, die ihrerseits Bürsten positionieren, die sich in elektrischem Kontakt mit dem Schleifring **12** befinden. Der Tragrahmen kann aus einem beliebigen strukturell geeigneten Material hergestellt sein. In einem Ausführungsbeispiel basiert der Tragrahmen beispielsweise auf einem langlebigen Kunststofflaminat oder auf Stahl.

[0026] In dem erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel nach [Fig. 1](#) enthält das elektrische Stellglied wenigstens einen Induktionsmotor **22**, der einen Stator **24** mit Statorwicklungen **26** aufweist. Falls der Tragrahmen aus einem geeigneten elektrisch leitenden Werkstoff hergestellt ist, kann er als die Sekundärseite des Motors **22** dienen. In einer Abwandlung kann eine Sekundärseite **28**, die beispielsweise aus Kupfer oder Aluminium besteht, mechanisch mit dem Stützring verbunden sein.

[0027] Für Zwecke der Veranschaulichung ist der Motor **22** als ein Bogensegmentinduktionsmotor dargestellt, und der Stator und die Sekundärseite sind als Bögen gezeigt. Ein (gelegentlich als gekrümmter Linearmotor bezeichneter) Bogensegmentmotor genügt, da der Motor **22** keine vollen Umdrehungen auszuführen braucht. Der Bogen ist im Allgemeinen im Bereich von dreißig (30) mechanischen Grad oder weniger bemessen. In einer Abwandlung kann der Stator und/oder die Sekundärseite, falls gewünscht, als ein vollständiger Zylinder ausgebildet sein. In einem Ausführungsbeispiel enthält die Sekundärseite ein an dem Stützring angebrachtes Stahljoch **30** und eine an dem Stahljoch angebrachte Aluminiumschie-

ne 32.

**[0028]** Ein (durch eine Wechselrichtersteuerung 38 gesteuerter) Wechselrichter 36 kann verwendet werden, um den Induktionsmotor zu betreiben. In einem Ausführungsbeispiel ist ein Hochspannungstrenntransformator 34 elektrisch zwischen den Wechselrichter und den Induktionsmotor 22 geschaltet, um zu erlauben, dass an den Bürsten eine Hochspannung anliegt, während zwischen dem Stator und der Sekundärseite ein schmaler Spalt aufrecht erhalten wird. In einigen Ausführungsbeispielen ist der Hochspannungstrenntransformator nicht erforderlich. Beispielsweise kann, wie in [Fig. 3](#) gezeigt, ein Bereitstellen einer Isolierung 129 zwischen der Sekundärseite und dem Stator des Motors 22 oder das Vorsehen eines ausreichenden Raums 229 zwischen dem Stator 124 und der Sekundärseite 128 des Motors 122 unter Inkaufnahme eines größeren und weniger effizienten Stellglieds die Gefahr eines Massekurzschlusses verhindern.

**[0029]** Jeder Induktionsmotor kann verwendet werden, um eine azimutale und/oder axiale Bewegung des Tragrahmens hervorzurufen. Beispielsweise kann der Motor 22 nach [Fig. 1-Fig. 3](#) genutzt werden, um eine azimutale Bewegung zu erzeugen. Der Motor 122 nach [Fig. 2-Fig. 3](#) wird um etwa neunzig Grad gegenüber dem Motor 22 gedreht, um eine axiale Bewegung hervorzubringen. In dem erfindungsgemäß Ausführungsbeispiel nach [Fig. 4](#) wird der Motor 222 um etwa fünfundvierzig Grad gedreht, um gleichzeitig eine azimutale und eine axiale Bewegung hervorzubringen. Mehrere Motoren können um einen einzelnen Schleifring herum eingesetzt werden, um verschiedene Arten von Bewegung und/oder ein Gleichgewicht zu bewirken. Im Falle der Verwendung mehrerer Motoren ist es von Vorteil, die Motoren im Wesentlichen symmetrisch um den Tragrahmen zu positionieren. Ein symmetrisches Positionieren ist insbesondere für eine axiale Bewegung sinnvoll, um den Ring gleichmäßig aufwärts und abwärts zu bewegen, während ein Kippen des Rings weitgehend verhindert ist.

**[0030]** [Fig. 5-Fig. 6](#) veranschaulichen in Block- und Funktionsdiagrammen ein Steuerungsverfahren der vorliegenden Erfindung. Der Wechselrichter 36 kann ein schalterloses Oszillieren, eine einstellbare Geschwindigkeit und eine einstellbare Amplitude ermöglichen. Der Betrieb des Bürstenbewegungssystems kann in diesem Fall geregelt werden, indem die Motordrehzahl mit einem Drehzahlsensor 78, beispielsweise einem Tachometer, ermittelt wird, und die Motordrehzahl dazu eingesetzt wird, um die Bürstenrelativgeschwindigkeit, die zur Schadensverhinderung erforderlich ist, auf ein minimales Maß zu reduzieren, und dadurch den Verschleiß und die Kohlenstoffstaubbildung zu minimieren. [Fig. 6](#) repräsentiert eine exemplarische Funktion, die in der Wechselrich-

tersteuerung 38 von [Fig. 5](#) enthalten sein kann, wobei der Büstengeschwindigkeitsbefehl bei geringen Rotordrehzahlen den größten Wert ausweist, während bei oder jenseits einer vorgegebenen Grenze der Rotordrehzahl der Wert des Büstengeschwindigkeitsbefehls gleich Null ist.

**[0031]** Weiter können die Bürsten selbst optional in einem geordneten oder zufälligen Muster axial versetzt sein (nicht gezeigt), so dass die Erwärmung und Abnutzung auf eine größere Fläche verteilt werden, wie in Hayes, Current-Collecting Brushes in Electrical Machines, ff. 124-127, Sir Isaac Pitman & Sons, Ltd., 1947, beschrieben. In einem Ausführungsbeispiel variieren Bürstenpositionen periodisch in einigen gleichmäßig beabstandeten Perioden des Umfangs, um im Falle der Verwendung das kompensierte Ausführungsbeispiels von [Fig. 13](#) die Anzahl von Spuren auf ein Minimum zu reduzieren.

**[0032]** [Fig. 7-Fig. 9](#) zeigen in einer geschnittenen Seitenansicht ein Schwingspulenstellglied 44 und Vorder- und Seitenansichten von Schleifringbürstenvorrichtungen gemäß weiteren Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung, wobei das Schwingspulenstellglied mechanisch mit dem Tragrahmen 20 verbunden ist. Die Ausführungsbeispiele und Optionen nach [Fig. 7-Fig. 9](#) ähneln jenen nach [Fig. 1-Fig. 4](#) mit dem Unterschied, dass für Ausführungsbeispiele, bei denen eine kleinere Amplitude der Bewegung oder eine höhere Frequenz der Oszillation gewünscht ist, ein Schwingspulenstellglied geeigneter ist. Es wird erwartet, dass ein Schwingspulenstellglied eine (azimutale oder axiale) Amplitude von einigen Millimetern bei einer Frequenz in der Größenordnung zweistelliger Hz-Werte bereitstellen wird, wohingegen ein Motor eine Amplitude von einigen Zentimetern oder mehr mit einer Frequenz von etwa einem Hz oder darunter ermöglicht.

**[0033]** Es existieren viele Arten von Schwingspulenstellgliedern. Eine Bauart ist für Zwecke der Veranschaulichung in [Fig. 7](#) gezeigt. In [Fig. 7](#) ist ein Magnetkern 52 von einem Magnetjoch 50 umgeben, wobei zwischen diesen auf der einen Seite Permanentmagnete 54 angeordnet sind. Zwischen dem Kern und dem Joch ist ein (mit elektrisch leitenden Wicklungen 56 ausgestatteter) Topf 58 angeordnet, der auf der anderen Seite mit einem Arm 46 verbunden ist. Typische Werkstoffen sind beispielsweise magnetischer Stahl für den Kern, magnetischer Stahl für das Joch und Kunststoff oder ein sonstiger nicht magnetischer Werkstoff für den Topf. Den Wicklungen 56 zwischen dem Topf und dem Joch wird Strom zugeführt, um den Topf und dementsprechend den Arm oszillierend zu bewegen. In dem erfindungsgemäß Ausführungsbeispiel nach [Fig. 8](#) übt der Arm 46 Druck auf eine Verlängerung 48 des Tragrahmens 20 aus. Falls der Arm senkrecht auf den Tragrahmen drückt, wird die Bewegung im Wesentlichen azimutal

sein. Falls die mechanischen Bewegungen unter einem Winkel verlaufen, kann eine axiale und azimutale Bewegung erzeugt werden. Die Verlängerung **48** ist für Zwecke der Veranschaulichung gezeigt. Ein weiteres Ausführungsbeispiel für die Betätigung ist in [Fig. 9](#) gezeigt, wo die Arme **46** eine mechanische Bewegung unmittelbar an dem Tragrahmen hervorrufen, so dass axiale Hin- und Herbewegungen erzeugt werden.

**[0034]** [Fig. 10](#) zeigt eine Draufsicht einer Schleifringbürstenvorrichtung gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, und [Fig. 11](#) und [Fig. 12](#) sind Seitenansichten einiger Ausführungsformen von Induktoren für die Verwendung in dem Ausführungsbeispiel von [Fig. 10](#). In Erregerstufen, die Gleichspannungen oder Wechselspannungen sehr geringer Frequenz verwenden, ist eine Ungleichgewichtigkeit des Stroms lediglich auf Unterschiede des elektrischen Widerstands zwischen den Bürsten und den elektrischen Verbindungen zurückzuführen. In Zeilenfrequenzsystemen verschlimmern Änderungen der Gegen- und Selbstinduktivität die Ungleichgewichtigkeiten des Stroms und dominieren die Stromverteilung.

**[0035]** Das Ausführungsbeispiel nach [Fig. 10](#)-[Fig. 12](#) enthält wenigstens einen elektrisch leitenden Schleifring **12** und mehrere elektrisch leitende Bürsten **14**, die dazu diene, dem wenigstens einen Schleifring Strom zuzuführen. Jede der elektrisch leitenden Bürsten ist über eine elektrische Verbindung **16** durch ein gemeinsames elektrisches Verbindungsglied **17** mit benachbarten elektrisch leitenden Bürsten verbunden, wobei wenigstens eine elektrische Anschlussleitung **18** mit dem gemeinsamen elektrischen Verbindungsglied verbunden sind.

**[0036]** In einem Ausführungsbeispiel sind mehrere mit **60-67** bezeichnete Induktoren jeweils auf einer entsprechenden der elektrischen Verbindungen angeordnet, wobei mindestens einer der Induktoren **60** näher an der elektrischen Anschlussleitung angeordnet ist und eine höhere Induktivität aufweist als mindestens einer der übrigen der Induktoren, die von der wenigstens einen elektrischen Anschlussleitung entfernt angeordnet sind. In einigen Ausführungsbeispielen ist auf jeder der elektrischen Verbindungen ein Induktor vorhanden. In Abwandlungen weisen in einigen Ausführungsbeispielen Bürsten, die weiter weg von der wenigstens einen elektrischen Anschlussleitung angeordnet sind, möglicherweise keine daran gekoppelte Induktoren auf. Falls, wie nachstehend anhand [Fig. 13](#) beschrieben, mehrere Anschlussleitungen verwendet werden, weisen beispielsweise näher an den Anschlussleitungen angeordnete Bürsten höhere Induktivitäten auf als Bürsten, die von den Anschlussleitungen entfernt angeordnet sind. Falls jeder Induktor auf einem Induktor mit einstellbarer variabler Induktivität basiert, kann

die Stromverteilung feinabgestimmt werden.

**[0037]** In einem Ausführungsbeispiel, wie es in [Fig. 11](#) gezeigt ist, enthält jeder Induktor einen Spulenkörper (Isolator) **70**, eine auf den Spulenkörper gewickelte Wicklung **74** und einen hinsichtlich der Position einstellbaren Magnetkern **72**, der beispielsweise auf Eisen basiert. Um die Leistung bei den auf der Leitung vorhandenen Frequenzen zu verbessern, kann der Kern **72** beispielsweise auf laminierten oder pulverisierten Eisen basieren. Eine Stellschraube **73** kann dazu dienen, die Position des Kerns zu fixieren, wenn der Abgleich erreicht ist.

**[0038]** In noch einem Ausführungsbeispiel, wie es in [Fig. 12](#) gezeigt ist, kann jeder Induktor automatisch für unterschiedliche Rotorstellungen angepasst werden, indem ein Schwingspulenstellglied **144** mit einem Arm **146** verwendet wird, um den Magnetkern **72** in einen Tauchkolbeninduktorkörper **70** hinein und heraus zu bewegen. Die durch die einzelne Bürsten fließenden Ströme können mit (nicht gezeigten) Stromsensoren gemessen werden und dazu dienen, die Kernposition, und folglich die Induktivität, durch Schwingspulenstellglieder zu steuern. Dieses Ausführungsbeispiel kann einen Regelkreisbetrieb vorsehen, der Änderungen von Selbst- und Gegeninduktivitäten kompensiert, während sich die Rotorstellung ändert.

**[0039]** In einem abgewandelten Ausführungsbeispiel, sind keine Induktoren variabler Induktivität enthalten. Die Stromverteilung in den Bürsten hängt von Selbst- und Gegeninduktivitäten sämtlicher Leiter ab, die sich auf Pfad des durch den Schleifring fließenden Stroms befinden. Für eine vorgegebene Rotorstellung wird die Verteilung unterschiedlicher Induktivitäten um den Umfang des Verteilerrings **16** eine gleichmäßige Verteilung des Stroms auf die Bürsten **14** erreichen. Falls die Rotorstellung sich ändert, müssen die Induktivitäten möglicherweise angepasst werden, um eine strenge Stromwaage aufrecht zu erhalten, was es erschwert, sämtliche unterschiedlichen Rotorstellungen zu kompensieren, ohne das oben anhand von [Fig. 12](#) erörterte Ausführungsbeispiel zu verwenden. Allerdings lässt sich die Stromaufteilung verbessern, indem die Selbstinduktivitäten der radialen Strompfade durch Einfügen der Induktoren **60-67** in die radialen Strompfade um wenigstens eine Größenordnung erhöht wird. Eine derartige Verwendung der Induktoren bewirkt, dass die Selbstinduktivitäten die Stromverteilung dominieren und somit den Einfluss sowohl der Gegeninduktivitäten als auch der Selbstinduktivitäten der durch die elektrischen Verbindungen **16** verlaufenden peripheren Strompfade reduzieren. Da die Induktoren **60-67** in den radialen Strompfaden angeordnet sind, sind sie parallel geschaltet. Die Induktivitäten können sämtliche so hergestellt sein, dass sie im Wesentlichen übereinstimmen und einen größeren (und zur Bewir-

kung der Dominanz der Selbstinduktivitäten ausreichenden) Wert aufweisen als in den peripheren Strompfaden. Folglich können Induktoren mit einem im Wesentlichen abereinstimmenden Wert verwendet werden, um eine von der Rotorstellung unabhängige Stromaufteilung zu erreichen.

[0040] [Fig. 13](#) zeigt in einer schematischen perspektivischen Ansicht eine Anordnung mit Rotorwicklungsanschlussleitungen, die Rotorwicklungen mit Schleifringen verbinden, gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung; [Fig. 14](#) und [Fig. 15](#) zeigen schematische perspektivische Ansichten von Vorrichtungen mit Rotorwicklungsanschlussleitungen, die Rotorwicklungen mit Schleifringen verbinden, gemäß weiteren Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung; und [Fig. 16](#)-[Fig. 18](#) veranschaulichen Schaltschemata mehrerer unterschiedlicher Verwirklichungen einer Verschaltung des Schleifringanschlusses der vorliegenden Erfindung.

[0041] In diesen Ausführungsbeispielen gehören zu jeder Anordnung: eine (wie in [Fig. 1](#) gezeigte) Rotorwelle **13**; ein mit der Rotorwelle verbundener Rotor **40**; mehrere Rotorwicklungsabschnitte oder Phasengürtel **41**, die jeweils entsprechende (in [Fig. 16](#) schematisch dargestellte) durch den Rotor hindurch gewickelte Rotorwicklungen **42** aufweisen; mehrere an die Rotorwelle gekoppelte elektrisch leitende Schleifringe; und Rotorwicklungsanschlussleitungen **43**, die die Rotorwicklungen mit den Schleifringen verbinden, wobei zumindest ein Teil der Rotorwicklungsanschlussleitungen mit entsprechenden der Schleifringe unmittelbar verbunden sind. Herkömmliche Ausführungsbeispiele weisen einzelne Pole auf, die für jede aus der Rotorwicklung kommenden Phase mit der Kombination verbunden sind, die dem Schleifring zugeführt wird. In den in [Fig. 13](#)-[Fig. 18](#) gezeigten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung ist zumindest ein Teil der Rotorwicklungsanschlussleitungen, anstatt mit einer anderen Rotorwicklungsanschlussleitung verbunden zu sein, unmittelbar mit den Schleifringen verbunden, um gemeinsam mit den Schleifringen verbunden zu werden.

[0042] In dem erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel nach [Fig. 13](#) verbindet beispielsweise jede Rotorwicklungsanschlussleitung **43** jede Rotorwicklung unmittelbar mit einem entsprechenden der Schleifringe **112**, **212** oder **312**, und mehrere Rotorwicklungsanschlussleitungen sind mit jedem der Schleifringe verbunden. In einem Ausführungsbeispiel sind die Wicklungen an im Wesentlichen gleichmäßig beabstandeten Positionen angeschlossen, indem, falls erforderlich, die Position wenigstens einer der Anschlüsse, wie schematisch durch die gestrichelte Linie **143** gezeigt, eingestellt wird, die eine abgewandelte Verbindung der Rotorwicklungsanschlussleitung mit dem Schleifring **312** darstellt.

[0043] Zur Vereinfachung der Darstellung ist in [Fig. 13](#) ein in Sternschaltung/Y-Schaltung (Y) angegeschlossener zweipoliger Rotor gezeigt. Der Wicklungsbereich der Phase A1 für den ersten Pol ist unmittelbar mit dem Schleifring **112** verbunden, und der Wicklungsbereich der Phase A2 für den zweiten Pol ist zusätzlich unmittelbar mit dem Schleifring **112** verbunden. Durch eine im Wesentlichen gleichmäßige Beabstandung zwischen den Verbindungen zu dem Schleifring wird der Strom äußerst effizient aufgeteilt/verteilt, und aufgrund unterschiedlicher Pfade und Induktivitäten auftretende Unterschiede des Bürstenstroms werden auf ein Minimum reduziert. Die Wicklungen der Phase B1, B2, C1, C2 sind desgleichen jeweils mit den Schleifringen **212** bzw. **312** verbunden.

[0044] Diese Verbindungen können zweckmäßigerweise durch den Einsatz moderner Hochspannungskabel verwirklicht werden, so dass die einzelnen Schaltkreise gut isoliert sind, und Flexibilität in den Anordnungen vorhanden ist. Insbesondere ist es möglicherweise nicht erforderlich, die Schleifringe in unmittelbare Nähe eines Motors/Konverters anzurorden, falls der Schleifring in sonstiger Weise für eine Wartung besser zugänglich ist. Beispielsweise ist in einigen Ausführungsbeispielen ein (nicht gezeigter) Drehmoment-(Leistungsfluss)-Steuerungsrotor mit einem Motorkonverterrotor verbunden, wobei die Schleifringe in Nähe des Motorkonverterrotors angegeschlossen sind. In einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung kann der Drehmomentsteuerungsrotor zwischen dem Motorkonverterrotor und den Schleifringen positioniert sein, und die Rotorwicklungsanschlussleitungen können durch (nicht gezeigte) Speichenzwischenräume, Kühllöcher oder eigens ausgebildete Öffnungen in dem Drehmomentsteuerungsrotor hindurchgeführt sein.

[0045] Das Ausführungsbeispiel von [Fig. 13](#) veranschaulicht ferner auf Rotorwicklungsanschlussleitungen **43** angeordnete Induktoren **76**. Diese Induktoren können, in ähnlicher Weise wie im Zusammenhang mit den Induktoren **60-67** von [Fig. 10](#) erörtert, genutzt werden, um kleine Induktivitätsdifferenzen zu kompensieren, die Ungleichgewichtigkeiten der Stromverteilung hervorrufen.

[0046] In dem erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel nach [Fig. 14](#) basiert zumindest ein Teil der Rotorschleifringe **112**, **212** und **312** auf segmentierten Rotorschleifringen. In diesem Ausführungsbeispiel ist jede Rotorwicklungsanschlussleitung **43** für sich mit einem entsprechenden Schleifringsegment **412**, **512**, **612**, **712**, **812** oder **912** verbunden, und der Strom verbleibt in dem entsprechenden Schleifringsegment, um eine gleichmäßige Stromverteilung zu fördern. Die Schleifringe können durch physikalische Trennung in Segmente unterteilt sein, zwischen denen sich Luft oder ein Isoliermaterial befindet.

**[0047]** In dem erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel nach [Fig. 15](#) verbindet jede Rotorwicklungsanschlussleitung **43** jede Rotorwicklung unmittelbar mit jeweils einem eindeutigen der Schleifringe, wie beispielsweise für Zwecke der Veranschaulichung bezeichnet mit **1012** oder **1112** gezeigt. Zur Vereinfachung der Darstellung sind lediglich die Schleifringe der Phase A gezeigt. Dieses Ausführungsbeispiel löst zwar nicht das Problem der peripheren Stromaufteilung, ist jedoch ein Ausführungsbeispiel, das die Kühlung erleichtert und weniger anfällig für Überhitzeung ist.

**[0048]** [Fig. 16](#)-[Fig. 18](#) veranschaulichen in Schaltschemata mehrere unterschiedliche Schaltungsverwirklichungen für den Schleifringanschluss der vorliegenden Erfindung. Die Darstellungen sind für Zwecke der Veranschaulichung als Y-Schaltungen gezeigt. Es existieren viele abgewandelte Ausführungsbeispiele einer Verschaltung, darunter auch solche für (nicht gezeigte) Anordnungen, die nur einen Stromkreis pro Phase verwenden. Beispielsweise ist jede Phase gewöhnlich mit einem gesonderten Schleifring verbunden. Die Phasennullleiter können miteinander und optional zusätzlich mit einem vierten Schleifring verbunden sein. In einer Abwandlung können sämtliche Phasennullleiter jeweils mit individuellen Schleifringen verbunden sein (für eine Gesamtanzahl von sechs Schleifringen).

**[0049]** [Fig. 16](#)-[Fig. 17](#) repräsentieren Ausführungsbeispiele mit zwei parallelen Stromkreisen pro Phase. [Fig. 16](#) zeigt ein Dreiphasen-Schaltschema für das Ausführungsbeispiel von

**[0050]** [Fig. 13](#), wobei jede der von einem ersten Pol ausgehenden Rotorwicklungsanschlussleitungen gemeinsam mit ihrer von dem zweiten Pol ausgehenden entsprechenden Phase mit einem Schleifring verbunden ist, und die Nullleiter miteinander verbunden sind. [Fig. 17](#) kann verwendet werden, um ein Diagramm entweder für das Ausführungsbeispiel von [Fig. 14](#) oder für das Ausführungsbeispiel von [Fig. 15](#) darzustellen, wobei jeder Pol mit einem gesonderten Schleifring oder Schleifringsegment verbunden ist. In abgewandelten verwandten Ausführungsbeispielen können die Nullleiter zu gesonderten Schleifringen oder zu einem gemeinsam verwendeten Schleifring heraus geführt sein.

**[0051]** Eine vierpolige Maschine mit vier Schaltkreisen pro Phase kann in einer ähnlichen Weise, wie anhand von [Fig. 16](#) und [Fig. 17](#) beschrieben, parallel verschaltet sein. In einer Abwandlung können, wie in [Fig. 18](#) gezeigt (wo für Zwecke der Veranschaulichung lediglich eine einzige Phase dargestellt ist), zwei Paare ( $A^1$  und  $A^2$ ,  $A^3$  und  $A^4$ ) Pole miteinander verbunden sein, wobei jedes Paar (über  $A^1$  und  $A^4$ ) separat mit einem Schleifring für jede Phase verbunden ist. Die oben beschriebenen Ausführungsbei-

spiele dienen der beispielhaften Veranschaulichung, und es können je nach Wunsch andere mehrpolige Y- und Delta-( $\Delta$ )-Anordnungen verwendet werden.

**[0052]** [Fig. 19](#) und [Fig. 20](#) zeigen ein Schaltschema und eine schematische perspektivische Ansicht eines Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung mit einer sechspoligen Wicklung. In diesem Ausführungsbeispiel weist eine Dreiphasenmaschine sechs Pole auf, wobei pro Pol und Phase zwei Spalte vorhanden sind, was insgesamt 36 Spalte ergibt. Für Zwecke der Veranschaulichung sind sechs Spalte pro Pol vorhanden, die mit einem Pitch von 5/6 gewickelt sind. Die Pole sind über Polanschlüsse **243** paarweise verbunden, woraus sich, wie in [Fig. 19](#) gezeigt, eine Maschine mit drei Stromkreisen ergibt. Jeder Phasengürtel ist durch Rotorwicklungsbereiche **341** repräsentiert. Beispielsweise ist eine zweischichtige überlappte Wicklung mit inneren Wicklungsbereichen (Spaltunterseite) **141** und äußere Wicklungsbereichen (Spaltobерseite) **241** gezeigt. Die sich ergebenden drei Schaltkreise sind für Zwecke der Veranschaulichung beispielsweise in einer Sternschaltung (Y-Schaltung) verbunden. In dem erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel nach [Fig. 20](#) sind Rotorwicklungsanschlussleitungen **43** gleichmäßig beabstandet und können den Schleifringen **112**, **212** und **312** als im Wesentlichen gleichmäßig beabstandete Anschlüsse ohne die im Zusammenhang mit [Fig. 13](#) erörterten Einstellungen unmittelbar zugeführt werden.

**[0053]** [Fig. 21](#) und [Fig. 22](#) zeigen Seitenansichten von zwei Druckstellgliedern, die in Ausführungsbeispielen verwendet werden können, die jenen ähneln, die anhand der Schwingspulenstellglieder nach [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#) beschrieben sind. In diesen Ausführungsbeispielen wird wenigstens ein Druckstellglied **244** nach [Fig. 21](#) oder **344** nach [Fig. 22](#) verwendet, um die Position wenigstens einer Bürste **14** ([Fig. 8](#)) gegenüber wenigstens einem Schleifring **12** ([Fig. 8](#)) oszillierend zu bewegen. Wie im Zusammenhang mit [Fig. 9](#) erörtert, können ein oder mehrere Stellglieder um einen Bürstenträgerrahmen **20** ([Fig. 8](#)) positioniert sein, und ein oder mehrere Stellglieder können ausgerichtet werden, um eine azimutale und/oder axiale Bewegung hervorzurufen.

**[0054]** [Fig. 21](#) veranschaulicht ein Ausführungsbeispiel eines Druckstellglieds, das auf einem hydraulischen Stellglied mit einem Fluidschlauch **80** basiert, der dazu dient, einem Stellzylinder **83** durch einen Abschlussdeckel **82** hindurch ein Fluid **81** zuzuführen, wobei das Fluid Druck auf einen Kolben **84** ausübt, der mit einer Feder **85** verbunden ist, die an einem Abschlussdeckel oder Federsitz **86** befestigt ist. Ein Arm **246** ist mit dem Kolben **84** verbunden. Die Position des Arms **246** wird durch den von dem Fluid ausgeübten Druck und durch die Kraft der Feder gesteuert. Der Arm **246** kann, wie in [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#)

gezeigt, mit einem Tragrahmen verbunden sein. Der Fließdruck lässt sich durch Elektronik geeignet steuern, so dass, wie anhand von [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) beschrieben, eine gewünschte Oszillationsfrequenz entsteht.

**[0055]** [Fig. 22](#) veranschaulicht ein Ausführungsbeispiel eines Druckstellglieds, das auf einem pneumatischen Stellglied basiert, zu dem Luftsäume **180** und **280** zum Zuführen von Luft **181** und **281**, ein Stellzylinder **183**, ein mit einem Arm **346** verbundener Kolben **184** und Abschlussdeckel **182** und **282** gehören, die das Eintreten von Luft in den Zylinder erlauben und dem Kolben als Begrenzungsschlüsse dienen. Die Position des Arms **346** wird durch das über die Luftsäume erzeugte Druckverhältnis gesteuert. Der Arm **346** kann, wie in [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#) gezeigt, mit einem Tragrahmen verbunden sein. Der Druck der Luft lässt sich mittels Elektronik geeignet steuern, so dass, wie gemäß [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) beschrieben, eine gewünschte Oszillationsfrequenz entsteht. Darüber hinaus können die Luftsäume genutzt werden, um eine Hochspannungsisolierung vorzusehen. In einem Ausführungsbeispiel sind die Luftsäume aus einem nicht metallischen Elastomermaterial hergestellt.

### Patentansprüche

1. Anordnung zum Übertragen von Strom, wobei die Anordnung aufweist:  
 wenigstens einen elektrisch leitenden Schleifring (**12**), der dazu eingerichtet ist, mit einem Rotor (**13**) verbunden zu sein;  
 wenigstens eine elektrisch leitende Bürste (**14**) zum Liefern von Strom an den wenigstens einen Schleifring;  
 wenigstens ein Stellglied (**22, 122, 244, 344**) zum Hin- und Herbewegen der Position der wenigstens einen Bürste relativ zu dem wenigstens einen Schleifring durch Erzeugung einer Bewegung,  
 wobei das wenigstens eine Stellglied ausgerichtet ist, um eine Bewegung hervorzubringen, die eine azimutale Bewegung oder eine axiale Bewegung ist, **durch gekennzeichnet**, dass die Anordnung ferner einen Wechselrichter (**36**) enthält, um das wenigstens eine Stellglied anzutreiben,  
 ein Geschwindigkeitssensor (**78**) zum Erfassen einer Geschwindigkeit des Rotors, und  
 eine Wechselrichtersteuerung (**38**), die dazu dient, den erfassten Geschwindigkeitswert zu nutzen, um ein Steuersignal als einen Bürstengeschwindigkeitsbefehl für den Wechselrichter zu erzeugen, wobei die Steuerung dazu eingerichtet ist, den Bürstengeschwindigkeitsbefehl so zu steuern, dass die Bürstengeschwindigkeit bei geringeren Rotorgeschwindigkeiten am höchsten ist.

2. Anordnung nach Anspruch 1, wobei jedes Stellglied (**22, 122, 244, 344**) ein elektrisches Stell-

glied (**22, 122**) ist, wobei das wenigstens eine Stellglied einen Induktionsmotor oder wenigstens ein Schwingspulenstellglied (**44**) aufweist, das mechanisch mit einem Trägerrahmen (**20**) verbunden ist.

3. Anordnung nach Anspruch 1 ferner mit einem Mittel, das dazu dient, eine Geschwindigkeit eines Rotors zu erfassen, der mit dem Schleifring verbunden ist, wobei der Geschwindigkeitswert verwendet wird, um das wenigstens eine Stellglied (**22, 122, 244, 344**) zu steuern.

4. Anordnung nach Anspruch 1, wobei jedes Stellglied (**22, 122, 244, 344**) ein Druckstellglied (**244**) ist.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

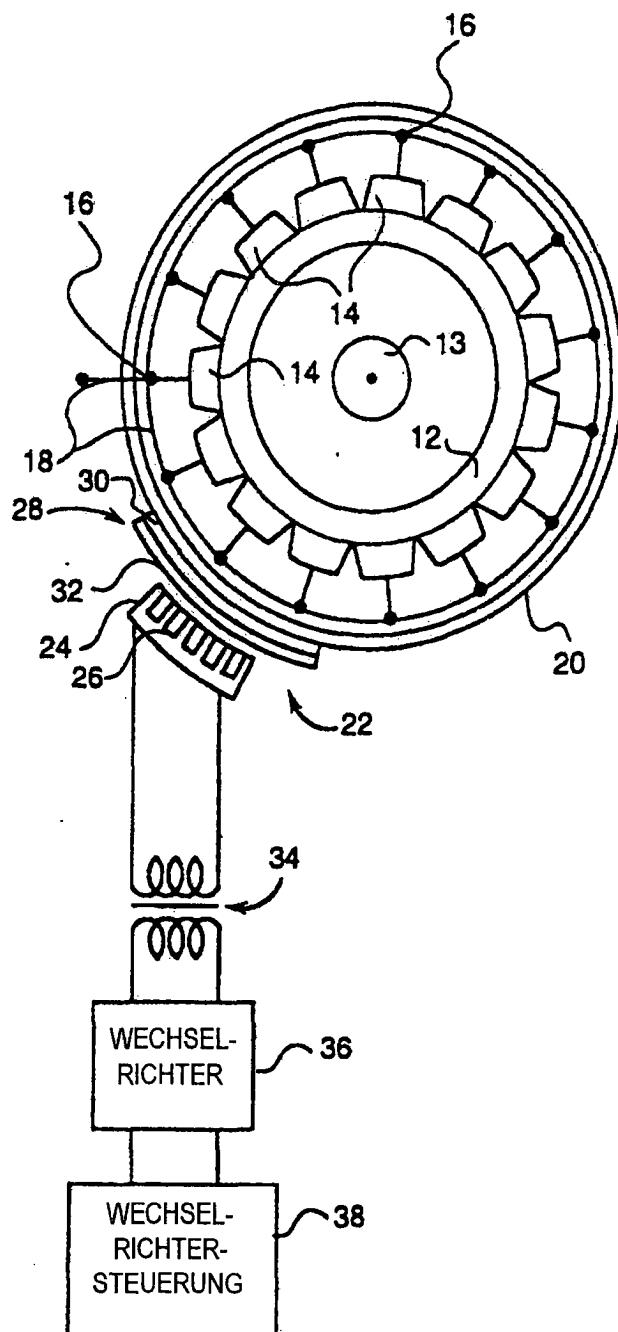


FIG. 1

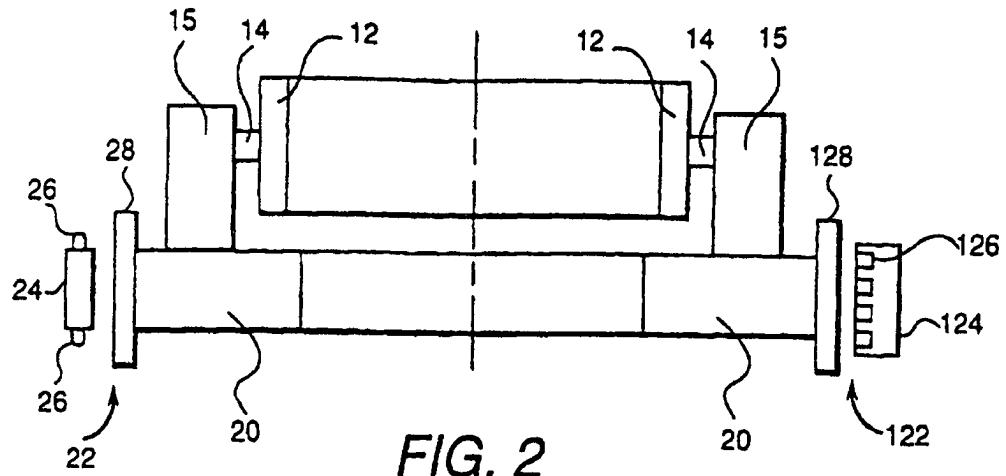


FIG. 2

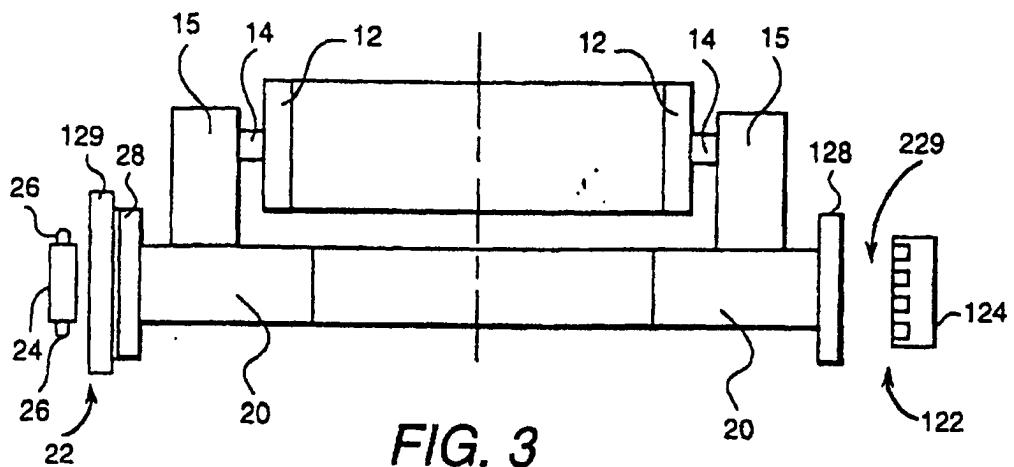


FIG. 3

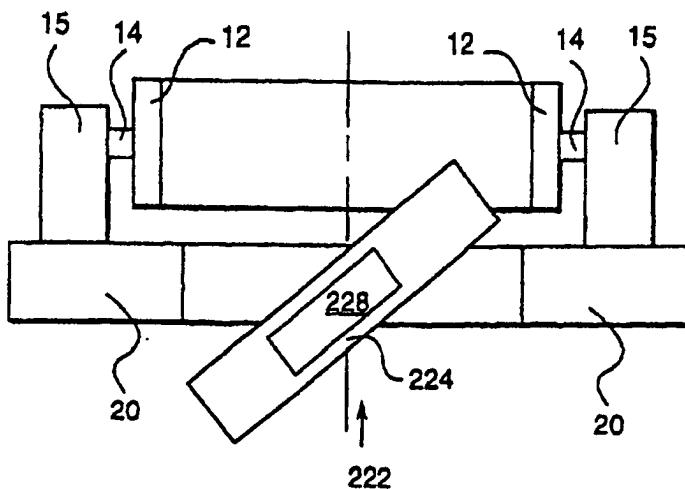


FIG. 4

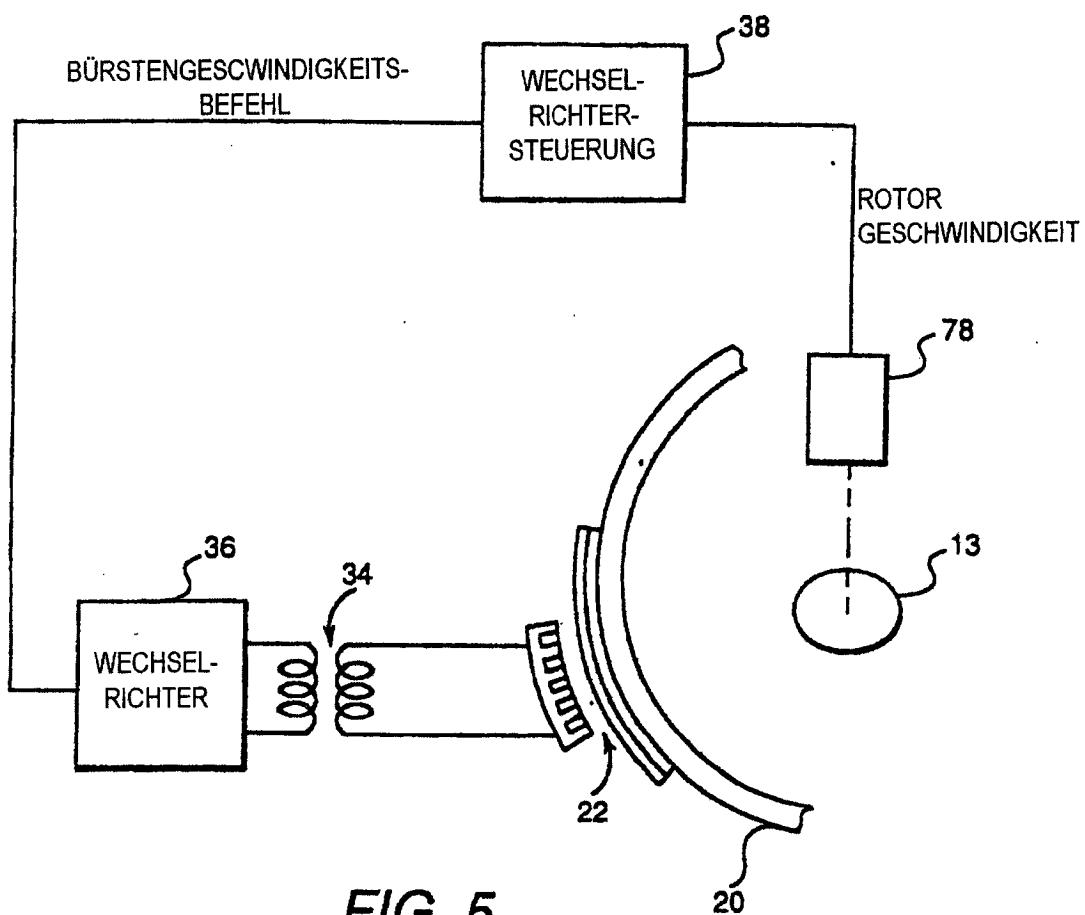


FIG. 5

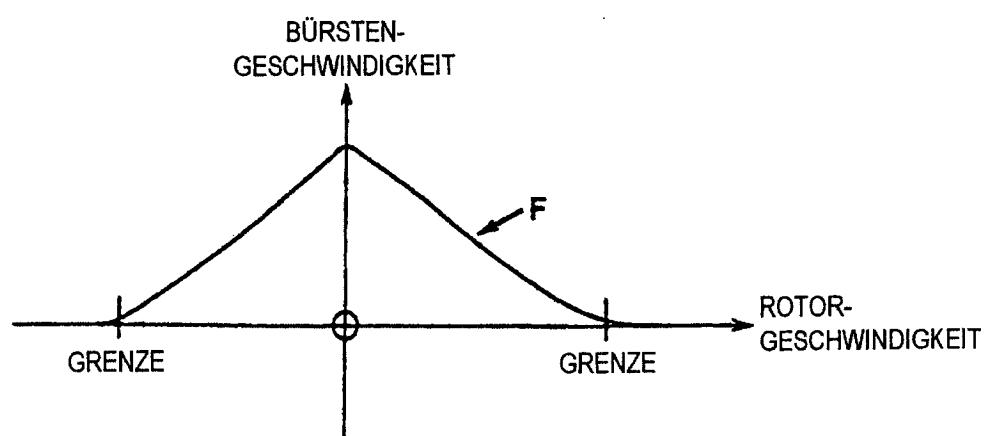
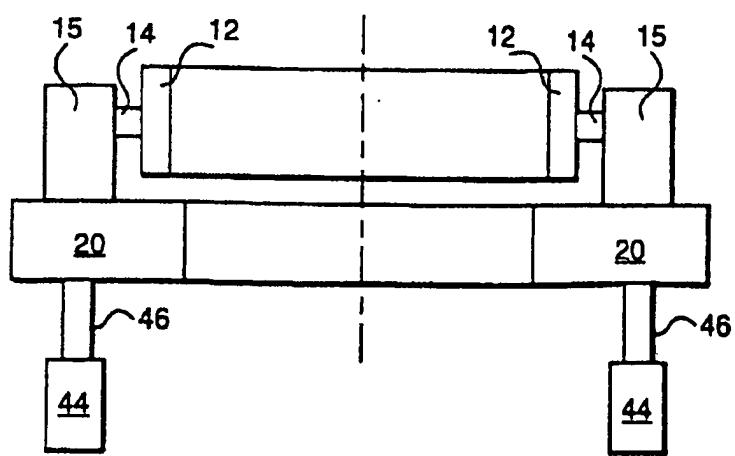
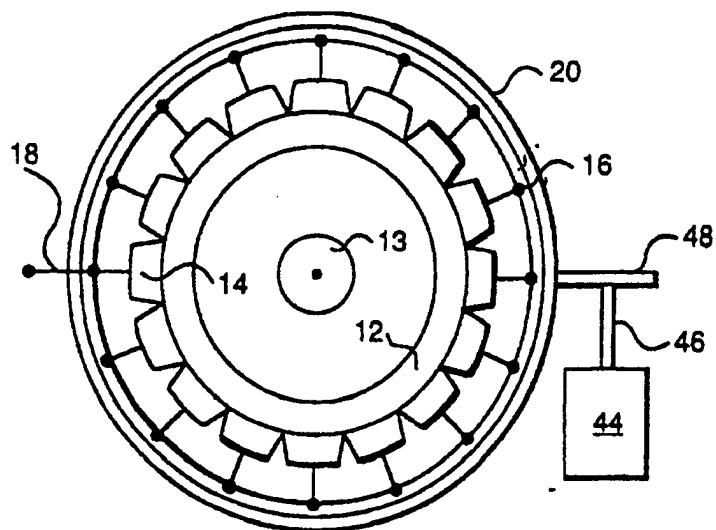
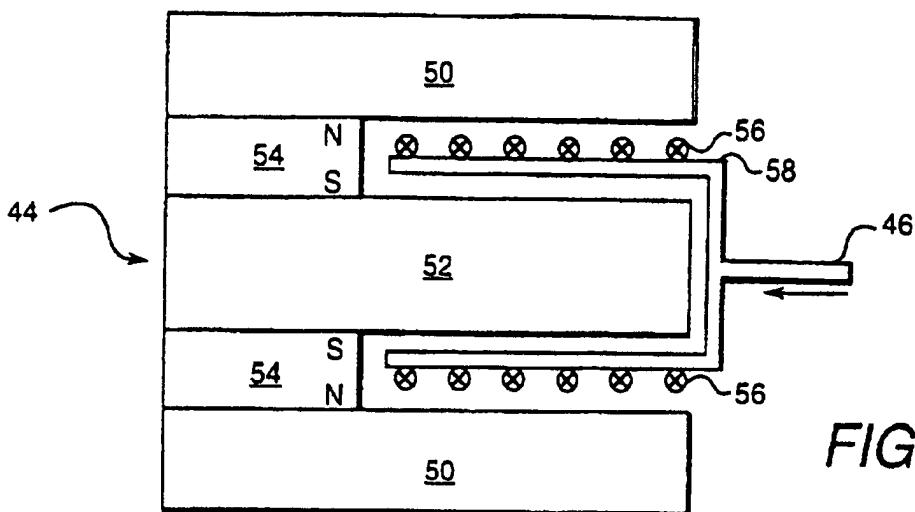


FIG. 6



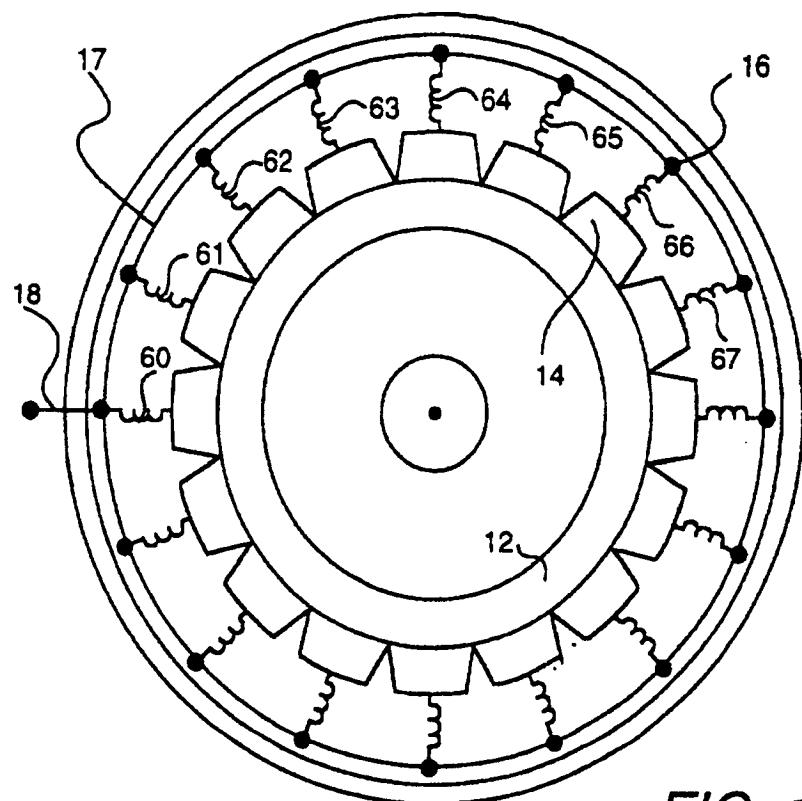


FIG. 10

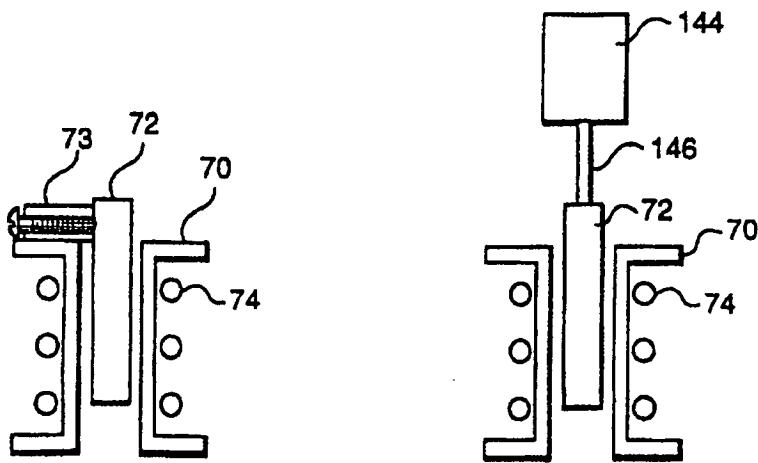
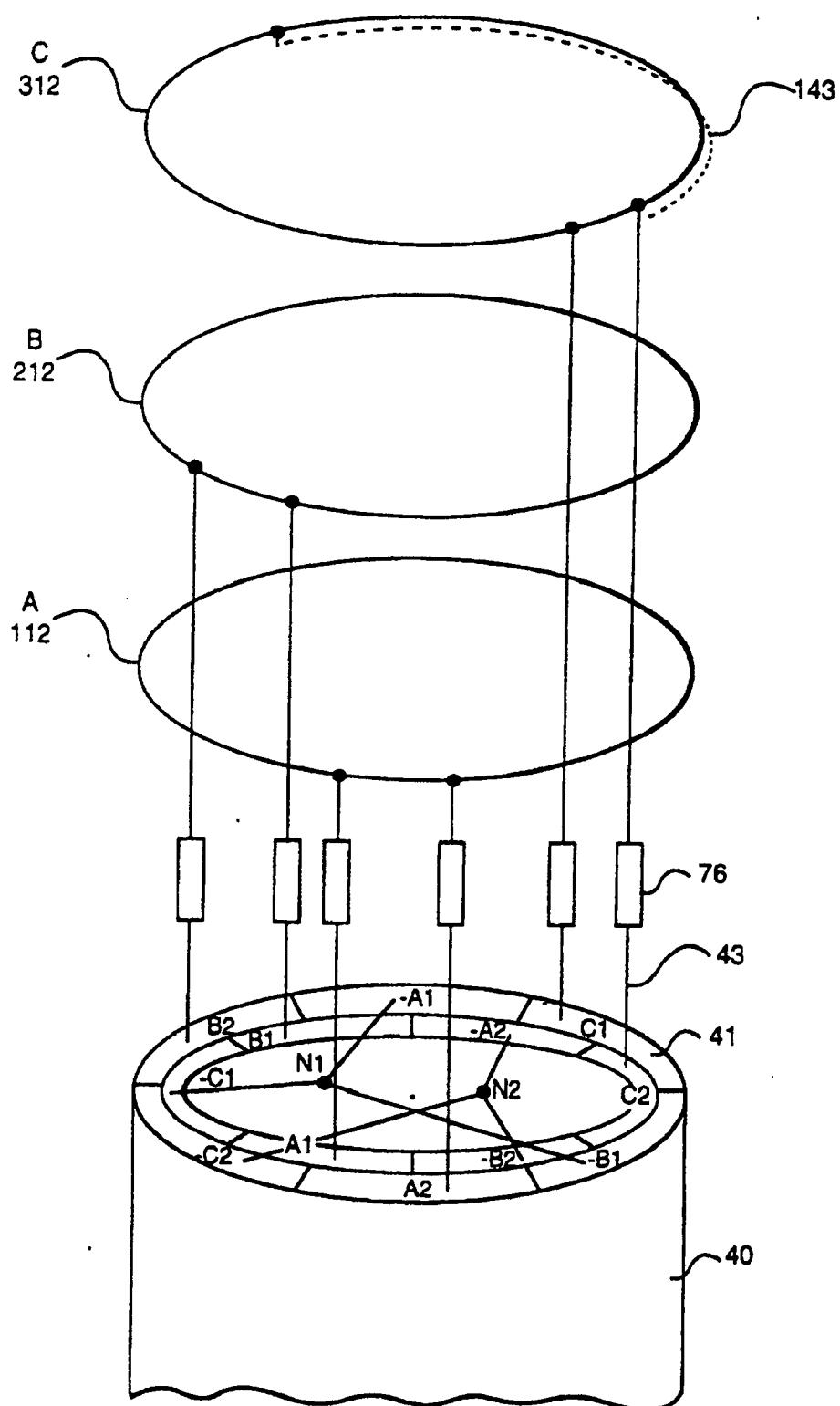


FIG. 11

FIG. 12



*FIG. 13*

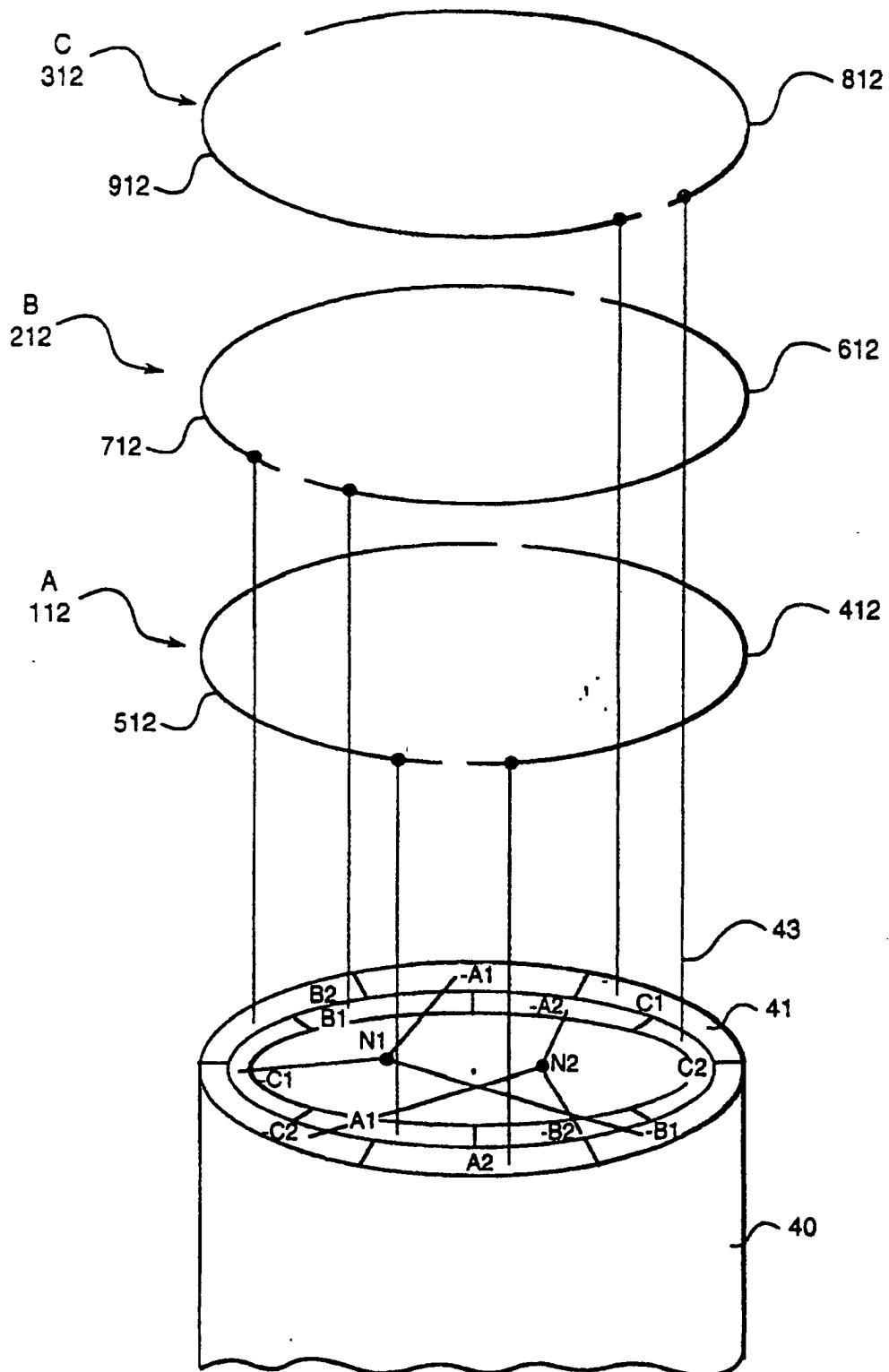


FIG. 14

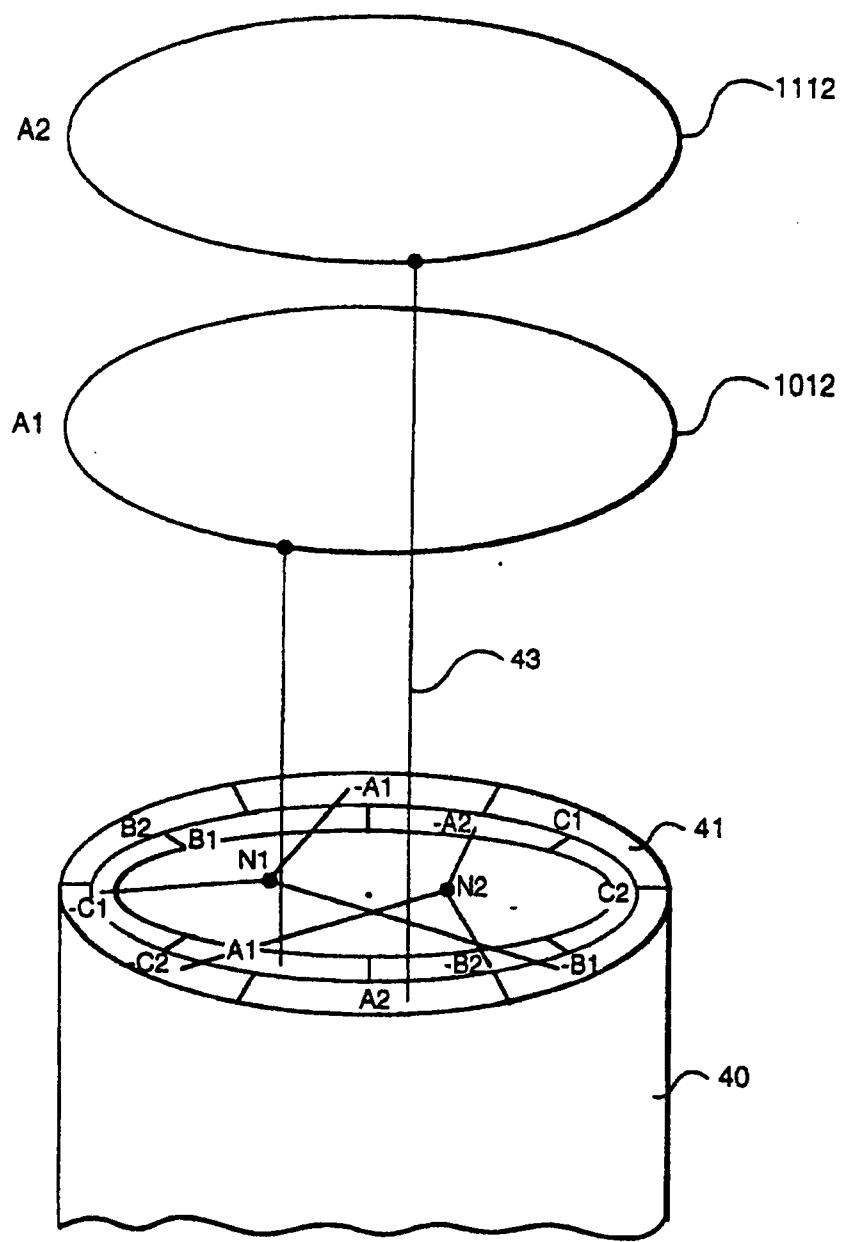


FIG. 15

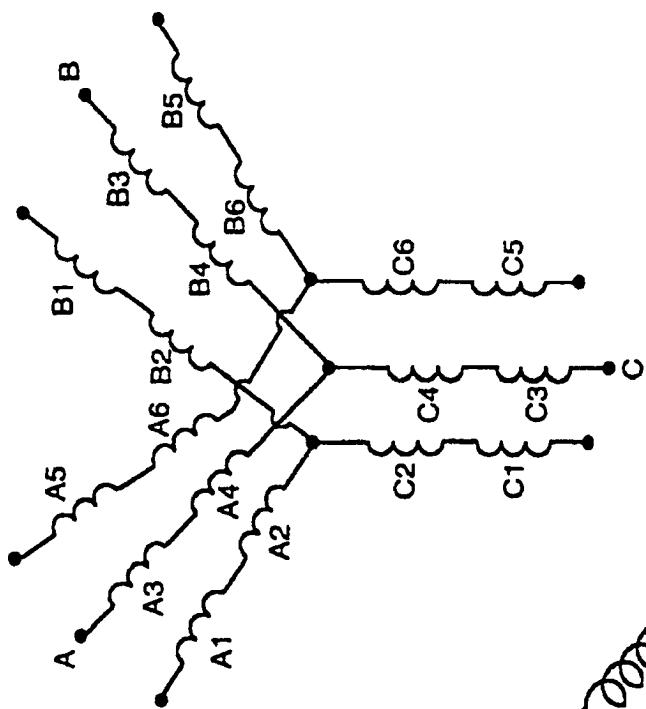


FIG. 19

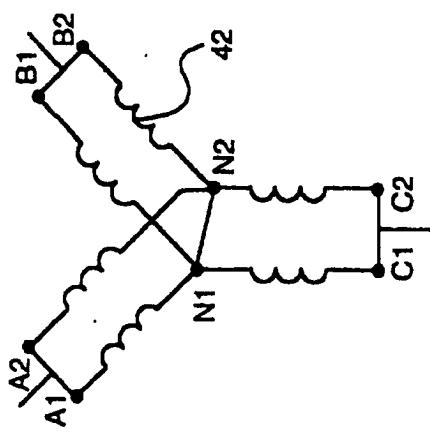


FIG. 16

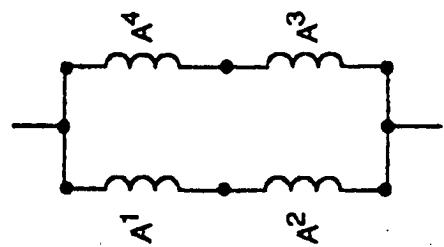


FIG. 18

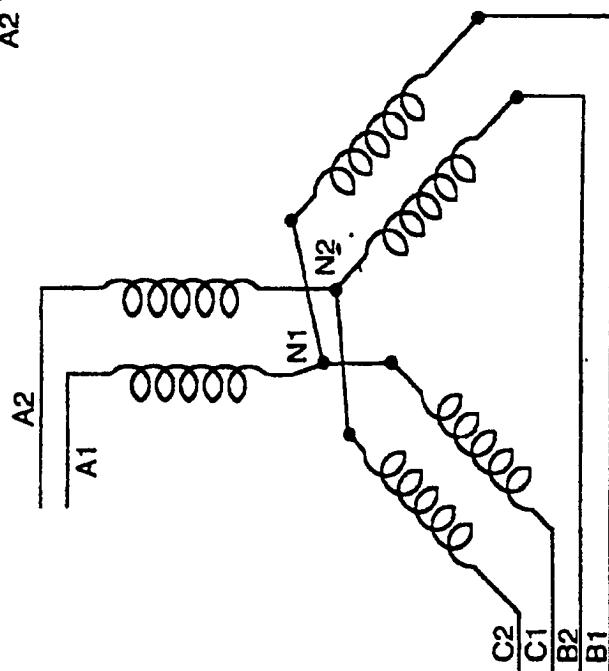


FIG. 17

FIG. 19

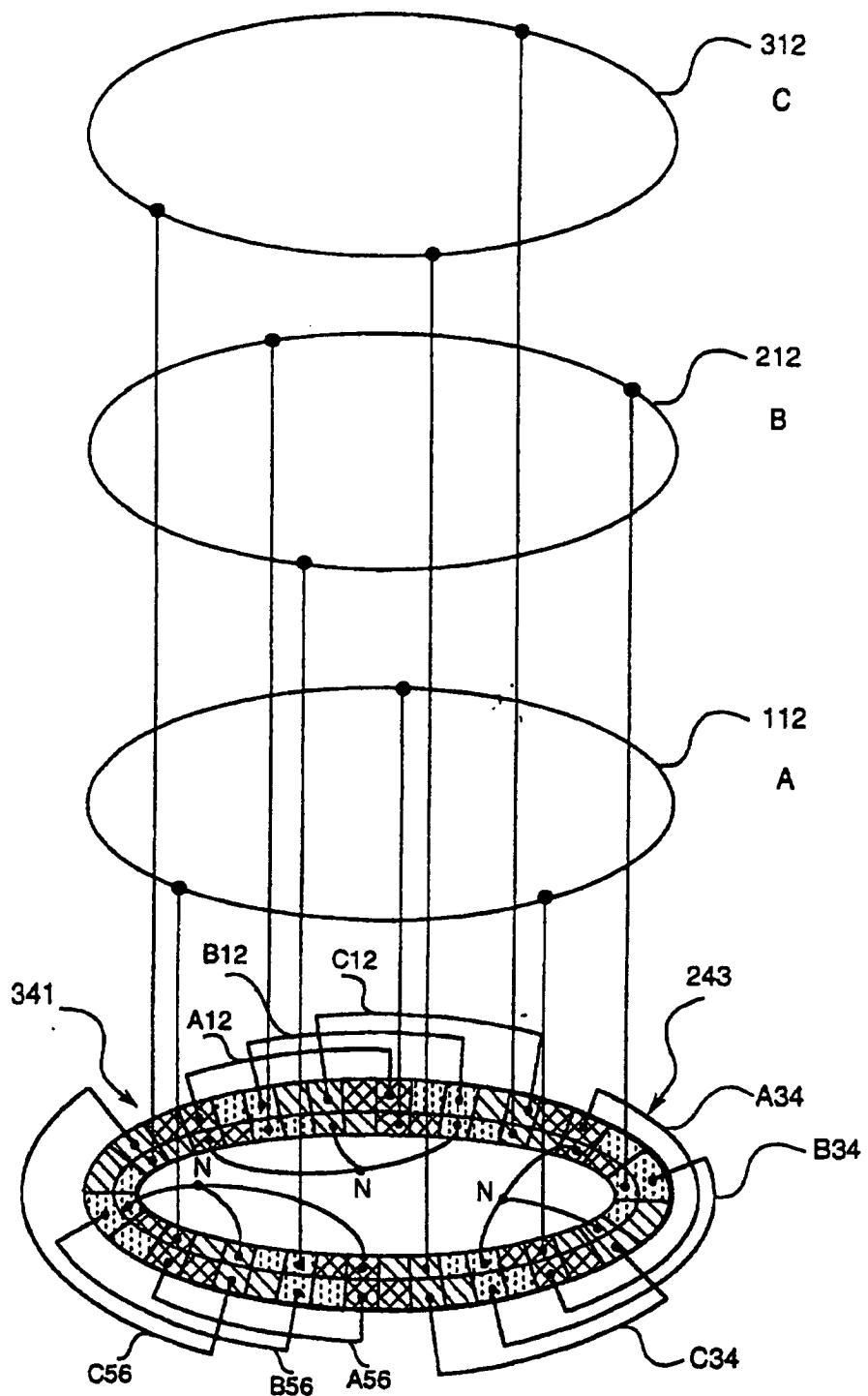


FIG. 20

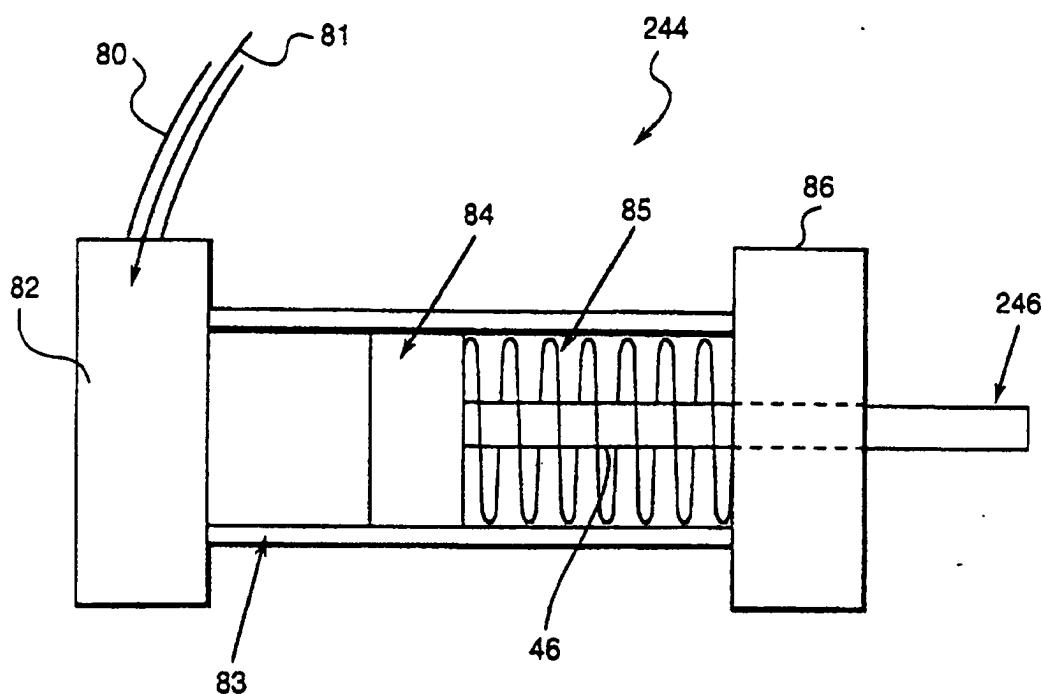


FIG. 21.

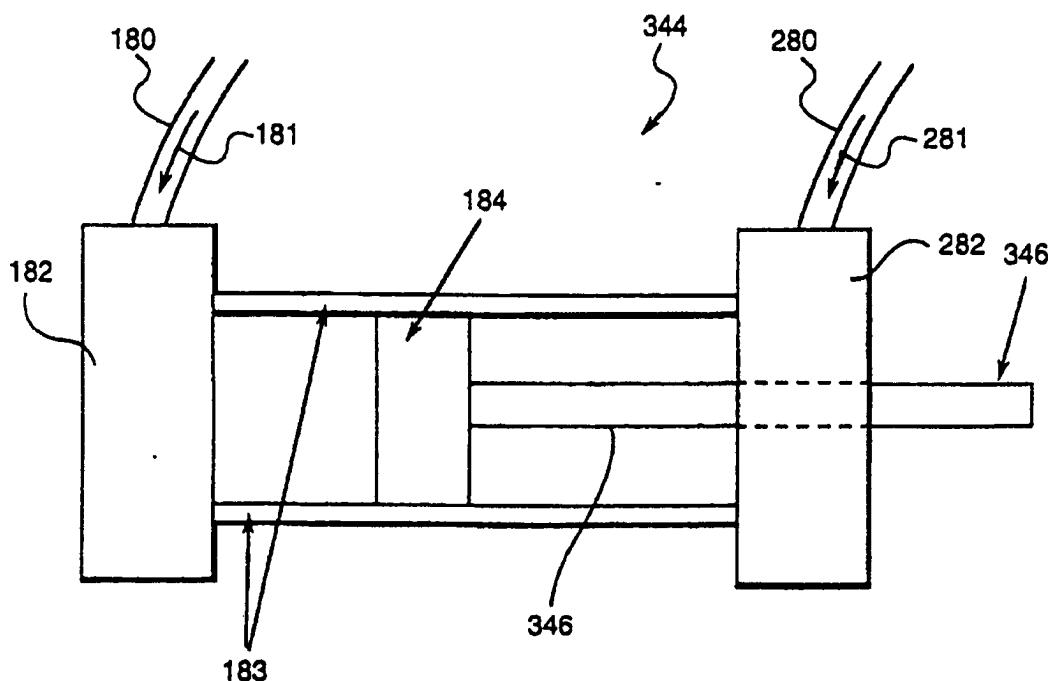


FIG. 22