CH 652 257 A5

(19) SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 652 257 A5

(51) Int. Cl.[4]: H 02 K 29/06

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT A5

(21) Gesuchsnummer: 4280/79

(22) Anmeldungsdatum: 07.05.1979

(30) Priorität(en): 08.05.1978 US 903677

(24) Patent erteilt: 31.10.1985

(45) Patentschrift veröffentlicht: 31.10.1985

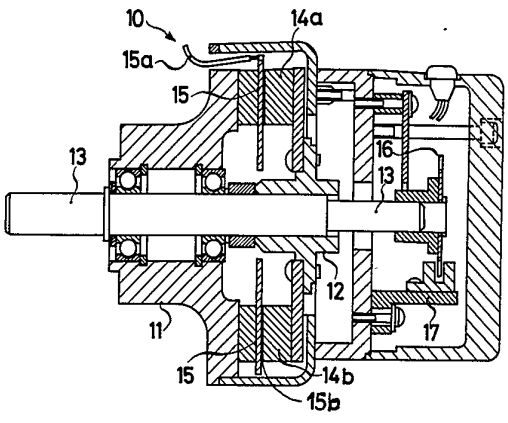
(73) Inhaber:
Kollmorgen Technologies Corporation, Dallas/TX (US)

(72) Erfinder:
Arnold, Frank, jun., Locust Valley/NY (US)
Geiger, Dana F., Great Neck/NY (US)

(74) Vertreter:
Patentanwalts-Bureau Isler AG, Zürich

(54) Bürstenloser Permanentmagnet-Gleichstrommotor und Verfahren zu seiner Herstellung.

(57) Der bürstenlose Permanentmagnet-Gleichstrommotor (10) ist mit einer flachen, eisenfreien Statorwicklung (15) versehen, welche direkt mit dem Motorgehäuse (11) verbunden ist. Dadurch wird eine gute Wärmeableitung erzielt. Ein Rotor (12) ist mit Permanentmagneten (14a, 14b) versehen. Zur Kommutierung ist anstelle von Bürsten eine elektrische Kommutiereinrichtung vorgesehen. Eine elektro-optische Abtasteinrichtung (16, 17) wird zur Anzeige der Position des Rotors (12) und dessen Drehrichtung verwendet. Ein digitales Ausgangssignal der Abtasteinrichtung (16, 17) steuert nach einer Dekodierung eine Kommutiereinrichtung für die Stromversorgung der Statorwicklung (15). Dieser Motor hat ohne Überdimensionierung ein hohes Anlaufmoment, und seine Drehzahl kann in bei Gleichstrommotoren üblicher Weise verändert werden.



PATENTANSPRÜCHE

1. Bürstenloser Permanentmagnet-Gleichstrommotor, mit einem axialen Arbeitsluftspalt (15b) zwischen einem Stator (11, 15), der eine flache Statorwicklung (15) aufweist, und einem Rotor (12), der eine Mehrzahl von durch Permanentmagnete (14a, 14b) gebildeten Magnetpolen aufweist, und mit einer elektronischen Halbleiter-Kommutiereinrichtung (50–54, 63–82) zur Versorgung der Statorwicklung (15) mit elektrischem Strom und Erzeugung elektromagnetischer Statorfelder, wobei die Kommutiereinrichtung (50–54, 63–82) über eine dem Rotor (12) zugeordnete Sensoranordnung (16–19; 44–49) in Abhängigkeit von der Drehlage des Rotors (12) und über eine Dekodiereinrichtung (43) gesteuert ist, dadurch gekennzeichnet, dass der die Permanentmagnete (14a, 14b) aufweisende Rotor (12) scheibenförmig ausgebildet ist, und dass die Statorwicklung (15), die zur Erzeugung von mindestens zwei elektromagnetischen Statorfeldern pro Magnetpol des Rotors (12) ausgebildet ist, auf einen flachen, scheibenförmigen, eisenlosen Träger nach der Art von gedruckten Schaltungen mit Leiterzügen in mehreren Ebenen aufgebracht ist, wobei der scheibenförmige Träger mit nahezu seiner gesamten Fläche an einem flanschartig ausgebildeten Statorgehäuse (11) anliegt und mit diesem fest verbunden ist.

2. Motor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Statorwicklung (15) mindestens zwei Ebenen von Leiterzügen aufweist, und dass in jedem Quadrant der Statorwicklung ausgewählte Ebenen der Leiterzüge an die Kommutiereinrichtung angeschlossen sind, um sechs im wesentlichen gleiche, einzelne Wicklungseinheiten zu bilden, welche zur Bildung einer bestimmten Wicklungsanordnung miteinander verbunden sind.

3. Motor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen Wicklungseinheiten sternförmig verbunden sind (Fig. 11a, 11b).

4. Motor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen Wicklungseinheiten zu einer dreieckigen Wicklungsanordnung verbunden sind (Fig. 11c, 11d).

5. Motor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensoranordnung Sensoren (17–19; 45–49) aufweist, die in Abhängigkeit von der Drehlage und der Drehrichtung des Rotors (12) ein digitales Signal in Graycode liefern.

6. Motor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensoranordnung ein auf einer Welle (13) des Rotors (12) befestigtes Codierrad (16; 44) und mehrere, dem Codierrad (16; 44) zugeordnete, in einem bestimmten festen Abstand voneinander angeordnete elektrooptische Sensoren (17–19; 45–49) aufweist.

7. Motor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der Sensoren (17–19; 45–49) gleich der Anzahl der Statorfelder pro Magnetpol des Rotors (12) ist.

8. Motor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Kommutiereinrichtung (50–54, 63–82) eine Schaltfrequenz von 5 bis 10 kHz besitzt.

9. Verfahren zur Herstellung des Motors nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass in jedem Quadranten der Statorwicklung (15) die Zahl der Enden der Leiterzüge durch sechs geteilt wird, dass beginnend am Anfang jedes Quadrants die äusseren Enden der Leiterzüge abgezählt werden, und dass diejenigen Enden, die nicht der durch die genannte Teilung bestimmten Zahl oder einem Vielfachen dieser Zahl entsprechen, miteinander verbunden werden, während die nicht miteinander verbundenen Enden der Leiterzüge an die Kommutiereinrichtung angeschlossen werden.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Statorwicklung (15) durch Ausstanzen der Leiterzüge einer jeden Ebene der Leiterzüge aus Kupferblech und durch Übereinanderschichten und Zusammenfügen der den einzelnen Ebenen der Leiterzüge entsprechenden, scheibenförmigen Leiterzuganordnungen gebildet wird, wobei die einander zugeordneten Leiterzüge unter Abtrennen der im Zentrum bzw. im äusseren Umfangsbereich zunächst nach dem Stanzen und Übereinanderschichten verbleibenden Bereiche des Kupferblechs miteinander verbunden werden, beispielsweise durch Schweissen.

Die Erfindung bezieht sich auf einen bürstenlosen Permanentmagnet-Gleichstrommotor gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 sowie auf ein Verfahren zu seiner Herstellung.

Gleichstrommotoren mit gedruckten Schaltungen sind an sich beispielsweise aus der US-PS 2 970 238 bekannt. Bürstenlose Gleichstrommotoren sind an sich beispielsweise aus der US-PS 4 072 881 und aus der US-PS 4 007 390 bekannt. Bezüglich Permanentmagnet-Gleichstrommotoren mit Ankerwicklungen niedriger Induktanz, die nach der Technik gedruckter Schaltungen, durch Stanzen oder durch Wickeln von Drähten hergestellt sind, sind ferner beispielsweise aus den US-Patentschriften 3 144 574, 3 566 727 und 3 550 645 bekannt.

Gleichstrommotoren, die bei gleichzeitig hoher Leistung einen schnellen Anlauf zeigen, werden beispielsweise in der Textilindustrie zum Ziehen von Fasern benötigt. Um das erforderliche, hohe Anlaufmoment zu erzielen, mussten bisher für derartige Zwecke Synchronmotoren mit einer erheblich grösseren Leistung als der für den Dauerbetrieb benötigten Leistung verwendet werden. Beispielsweise mussten in Fällen, bei denen eine Durchschnittsleistung von 0,37 bis 0,55 kW erforderlich war, Motoren mit einer Leistung von 1,5 PS vorgesehen werden, nur um ein genügend hohes Anlaufmoment zu gewährleisten.

Aufgabe der Erfindung ist, einen bürstenlosen Permanentmagnet-Gleichstrommotor der eingangs genannten Art zu schaffen, der ohne Überdimensionierung ein hohes Anlaufmoment hat und dessen Drehzahl in bei Gleichstrommotoren üblicher Weise verändert werden kann.

Erfindungsgemäss weist der bürstenlose Permanentmagnet-Gleichstrommotor die im kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1 angeführten Merkmale auf.

Der erfindungsgemässe Motor weist nicht nur ein hohes Anlaufmoment auf, sondern kann auch bei hohen Drehzahlen von beispielsweise etwa 25 000 min^{-1} eine grosse Leistung von 180 W bis 3,7 kW oder sogar 7,4 kW haben. Ein weiterer Vorteil des Motors liegt darin, dass er eine hohe Wärmekapazität hat, die durch die direkte Verbindung des Trägers der Statorwicklung mit dem Statorgehäuse erzielt wird.

Bei bürstenlosen Permanentmagnet-Gleichstrommotoren ist es erforderlich, die Drehlage der Permanentmagnete des Rotors in jedem Zeitpunkt genau feststellen zu können. Hierzu eignet sich insbesondere eine Anordnung elektro-optischer Sensoren im Zusammenhang mit einer mit der Rotorwelle verbundenen, lichtundurchlässigen Scheibe, die an ihrem Aussenrand alle 45° Einkerbungen hat, um einen 3-Bit-Graycode zu erzeugen. Eine solche Sensoranordnung erlaubt eine exakte Erfassung der Drehlage des Rotors in beiden Drehrichtungen. Es können aber auch andere bekannte Sensoren vorgesehen werden, zum Beispiel magnetische Sensoren, sofern diese dazu ausgebildet sind, eine genaue Information über die Drehlage und den Drehsinn des Rotors zu liefern.

Bei einer achtpoligen Ausführungsform des erfindungsgemässen Motors wird in jedem Quadranten sechsmal umge-

schaltet, also 24 mal für eine volle Umdrehung. Bei 25 000 Umdrehungen pro Minute und 24 Schaltvorgängen pro Umdrehung ergibt dies eine Schaltfrequenz von 10 kHz. Diese hohe Schaltfrequenz wird durch eine niedrige Induktanz der Statorwicklung ermöglicht.

Bei der achtpoligen Ausführungsform kann die Kommutation durch Statorfelder erzielt werden, die einen Winkelbereich von 45° überdecken. Andererseits kann ein solches 45°-Segment auch in drei 15°-Segmente unterteilt werden. Durch eine solche Massnahme kann die Welligkeit des Drehmoments auf 5% oder weniger reduziert werden.

Die Statorwicklung kann sich aus mehreren Wicklungseinheiten zusammensetzen, die untereinander derart verbunden sind, dass eine bestimmte Wicklungskonfiguration vorliegt. Dies kann bei bestimmten Anordnungen eine Verdoppelung der Leistung des Motors bewirken, wobei durch diese Massnahme gleichzeitig die benötigte Anzahl der Halbleiterelemente in der Kommutiereinrichtung auf die Hälfte reduziert wird.

Das Verfahren zur Herstellung des erfindungsgemässen Motors ist im Patentanspruch 9 definiert.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachstehend anhand der Zeichnungen erläutert.

Fig. 1 zeigt einen Längsschnitt eines erfindungsgemässen Motors.

Fig. 2 stellt ein Codierrad und Abtastorgane des Motors der Fig. 1 dar.

Fig. 3 ist eine schematische Darstellung der Entstehung des Lage-Codes durch Zusammenwirken des Codierrads mit den Abtastorganen.

Fig. 4A zeigt eine Statorwicklung mit einigen eingezeichneten Wicklungsleiterzügen, beispielsweise nach Art gedruckter Leiterzüge.

Fig. 4B zeigt in Aufsicht eine schematische und idealisierte Darstellung der Richtung des Stromflusses in einem Statorwicklungsausschnitt.

Fig. 5 entspricht Fig. 4B für den gesamten Stator.

Fig. 6A und 6B zeigen zwei aufeinanderfolgende idealisierte Ansichten von gedruckten Statorwicklungen und Rotormagneten.

Fig. 7 ist eine vereinfachte schematische Darstellung einer gedruckten Statorwicklung mit einer Erregerschaltung.

Fig. 8 ist eine Aufsicht auf einen Teilausschnitt einer Vierebenen-Statorwicklung für den in Fig. 1 gezeigten Motor.

Fig. 9A ist eine Aufsicht auf ein zweites Codierrad mit Lageabtastorganen für den Motor von Fig. 1.

Fig. 9B zeigt in schematischer Darstellung das Zusammenwirken des Codierrads und der Abtastorgane der Fig. 9A zur Erzeugung des Lagecode.

Fig. 10 zeigt eine vereinfachte schematische Darstellung einer Treiberschaltung für das Codierrad und die Abtastorgane der Fig. 9A.

Die Fig. 11A bis 11D zeigen die verschiedenen möglichen Konfigurationen, die durch Verbindung der einzelnen Wicklungseinheiten der Statorwicklung entstehen.

Fig. 1 stellt einen bürstenlosen, mit gedruckter Schaltung versehenen Motor 10 mit einem Statorgehäuse 11, einem Rotor 12 und einer Rotorwelle 13 dar. Permanentmagnete 14a und 14b sind an einer Rotorscheibe befestigt. Am Statorgehäuse 11 anliegend und fest mit diesem verbunden ist eine Statorwicklung 15 mit niedriger Induktanz. Die Statorwicklung 15 wird über Anschlussdrähte 15a mit Strom versorgt und bildet mit den Rotormagneten 14a, 14b einen axialen Arbeitsluftspalt 15b.

Ein Codierrad 16 ist auf der Rotorwelle 13 montiert und weist an seinem äusseren Rand alle 45° eine Einkerbung auf. In unmittelbarer Nähe sind mehrere elektro-optische Abtastorgane 17, 18 und 19 (in Fig. 1 nur ein Abtastorgan 17 sichtbar) oder Sensoren montiert. Jedes Abtastorgan besteht beispielsweise aus einer lichtemittierenden Diode und einem Photodetektor.

Fig. 2 zeigt das Codierrad 16 und die elektro-optischen Abtastorgane 17, 18 und 19, die jeweils in einem Winkelabstand von 15° angeordnet sind. Diese Kombination von Codierrad und Abtastorganen bewirkt ein eindeutiges digitales Codesignal, durch welches die genaue Lage des Rotors und damit der Permanentmagnete 14a, 14b angegeben wird.

Fig. 3 zeigt in schematischer Darstellung, wie das Codesignal zustande kommt, wenn das Codierrad 16 sind an den Abtastorganen 17, 18 und 19 vorbeidreht. In der folgenden Tabelle ist das Resultat dargestellt:

Lage	Binärsignal des Abtastorgans		
	17	18	19
A	1	1	0
B	1	0	0
C	0	0	0
D	0	0	1
E	0	1	1
F	1	1	1
G	1	1	0

Der Lage-Code ist ein Grey-Code, d.h. ein solcher Code, bei dem sich bei jeder Lageänderung nur ein Bit ändert, wodurch völlige Eindeutigkeit bei Lageänderungen erzielt wird.

Fig. 4A zeigt die gedruckte Statorwicklung mit einigen eingezeichneten Leiterzügen. Zur besseren Verständlichmachung der vorliegenden Erfindung kann man sich die einzelnen stromführenden Leiter zu einer stromführenden Fläche zusammengefasst denken, wie dies in Fig. 4B dargestellt ist.

In Fig. 5 ist eine gedruckte Feldwicklung 15 dargestellt, die über Bürsten 20 und 21 mit Strom versorgt wird. Als Gleichstromquelle dient beispielsweise eine Batterie. Diese Figur zeigt die Situation für einen konventionellen, achtpoligen, gedruckten Motor; die Bürsten sind jeweils 45° voneinander entfernt; sie versorgen also jeweils einen Teilausschnitt der Feldwicklung mit Strom.

Bei dem bürstenlosen Motor nach der Erfindung ist die Feldwicklung fest montiert und bildet einen Teil des Stators.

Bei dem vorliegenden Motor wird die Stromversorgung über Zuleitungsdrähte zu den Leiterzügen der Statorwicklung erzielt, die mit der elektrischen Kommutatoreinrichtung verbunden sind. Im Idealfall würde jeder möglichen Bürstenposition in einem konventionellen Arbeitsluftspaltmotor ein Schaltvorgang der Kommutiereinrichtung entsprechen. Dies ist praktisch nicht durchführbar.

Für einen funktionierenden Motor sind wenigstens zwei Feldpositionen pro Rotormagnet erforderlich. Um die Welligkeit des Drehmomentes weitgehend zu verringern, werden drei Feldpositionen pro Magnet gewählt. Selbstverständlich können auch mehr als drei Positionen vorgesehen werden.

In Fig. 6 ist eine Statorwicklung mit drei Feldpositionen pro Magnet gezeigt. Für eine solche sind zwölf Schalter 30 bis 41 erforderlich, wozu sich Transistoren bewährt haben. Jede Feldposition wird durch ein Schalterpaar mit Strom versorgt, beispielsweise durch die Schalter 30, 31 mit der Feldrichtung nach aussen und durch die Schalter 36, 37 mit der Feldrichtung nach innen. Bei zwei Feldpositionen pro Magnet werden entsprechend nur sechs Schalter benötigt, bei vier Feldpositionen achtzehn Schalter.

Eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemässen Motors ist mit acht Polen oder Magneten ausgestattet. Jeder Magnet überdeckt ein Segment von 45°. Bei drei Teil-

ausschnitten pro Segment ergibt sich jedes Feld zu 15°; es ist deshalb erforderlich, sechs abstandsgleiche Zustände in jedem Quadranten festzulegen, und zwar für drei nach innen und drei nach aussen gerichtete Felder. Dementsprechend sind die Abtastorgane im Zusammenwirken mit dem Codierrad im Abstand von 15° abgeordnet, um pro Quadrant sechs digitale Ausgangssignale zu liefern.

In der Ausgangsposition sind die Schalter 30 und 37 geschlossen. Nachdem die Magnete 23 und 24 einen Drehwinkel von 15° zurückgelegt haben, öffnen sich die Schalter 30 und 37, und die Schalter 32 und 39 werden geschlossen. Nach einer weiteren Umdrehung um 15° öffnen sich die Schalter 32 und 39 und die Schalter 34 und 41 werden geschlossen.

Das für den vorliegenden Motor verwendete Kommutier-System könnte man als «Ersatzbürsten» oder auch als «Bürstenmimik» bezeichnen, da die elektrischen Schalter die Aktion der Bürsten nachahmen, wenn auch mit weniger Stromwendungen pro Umdrehung.

Für den erfindungsgemässen Motor wird vorzugsweise eine Vier-Ebenen-Statorwicklung verwendet, also eine solche, die Leiterzüge in vier Ebenen besitzt. Zwei-Ebenen-Statorwicklungen können ebenso wie Mehrebenen-Statorwicklungen verwendet werden. Die Herstellung derartiger Statorwicklungen ist bereits Stand der Technik.

Fig. 8 zeigt einen Teilausschnitt einer Vier-Ebenen-Statorwicklung 15.

Die Funktionsweise der für den erfindungsgemässen Motor verwendeten Kommutation soll anhand eines Motors beschrieben werden, der fünf Feldpositionen pro Magnetpol aufweist. Für die beiden Feldrichtungen bedeutet dies 10 Zustandspositionen pro Magnetpol.

Fig. 9A zeigt ein Codierrad 44 und fünf Abtastorgane 45–49, die erforderlich sind, um die zehn Ausgangssignale für die zehn Zustandspositionen zu liefern.

Fig. 9B zeigt in schematischer Darstellung das Zustandekommen der in der folgenden Tabelle verzeichneten Positionscodes durch das Zusammenwirken des Codierrads 44 und der Abtastorgane 45 bis 49.

	Abtastorgan				
Position	45	46	47	48	49
A	1	1	1	1	1
B	1	1	1	1	0
C	1	1	1	0	0
D	1	1	0	0	0
E	1	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0
G	0	0	0	0	1
H	0	0	0	1	1
I	0	0	1	1	1
J	0	1	1	1	1

Die für den bürstenlosen gedruckten Gleichstrommotor verwendete Steuerschaltung besteht im allgemeinen aus einem Satz von Kommutierungselementen, einer Pulsbreitemodulierten Stromquelle und einer Decodiereinrichtung. In Fig. 10 ist in vereinfachter und schematischer Darstellung eine Schaltung für einen Motor gezeigt, der fünf Feldpositionen pro Magnet aufweist.

Ein Transistor 50 ist ein Schalttransistor, der von einem Pulsbreite-modulierten Signal mit einer Frequenz von vorzugsweise 5 bis 10 kHz angetrieben wird. Wird der Transistor 50 eingeschaltet, liegt die Spitzenspannung V_s an einer Spule 51. Wird der Transistor 50 abgeschaltet, so ist die Spule 51 von der Versorgungsspannung getrennt. Durch Regeln der Ein- und Abschaltzeiten kann in einfacher Weise die Versorgungsspannung geregelt werden. Dies wird vielfach als Pulsbandbreiten-Modulation bezeichnet. Da der Strom der Spule 51 sich nicht momentan ändern kann, wird durch diesen die Wellenform geglättet. Ein Widerstand 52 ist ein Stromabtast-Widerstand. Während der Abschaltphase des Transistors 50 bewirkt eine Diode 53 den weiteren Stromfluss durch die Spule 51 und in den die Last darstellenden Motor.

Steuerbare Gleichrichterelemente 63 bis 82 sind mit den ausgewählten Leiterzugenden, nachfolgend als «Anschlussstellen» bezeichnet, am Innenradius der Armatur verbunden. Legt man eine Spannung gleichzeitig und aufeinanderfolgend an je zwei der Anschlussstellen, so entspricht dies einer Nachbildung der Stromzuführung mittels Bürsten. Werden die Gleichrichterelemente 63 und 78 mit Strom versorgt, so entspricht dies der Aktion der Bürsten beim konventionellen Motor. Zur Umdrehung in der entgegengesetzten Richtung können die Gleichrichterelemente 68 und 73 benutzt werden.

Auf Durchgang geschaltete Gleichrichterelemente werden durch Verringern des Stromes unter den Haltewert wieder in den Sperrzustand gebracht. Ein Transistor 54 dient als Schalttransistor für diese Funktion. Im Normalbetrieb ist dieser eingeschaltet (voll gesättigt). Zum Abschalten einer entsprechenden Gruppe von Gleichrichterelementen wird der Transistor 54 angeschaltet. Dadurch wird der Strom durch die Gleichrichterelemente auf den Leckstrom des Transistors 54 reduziert, der geringer als der Haltestrom der Gleichrichterelemente ist. In den Schaltintervallen, in denen der Transistor 54 abgeschaltet ist, fliesst der Strom in der Spule 51 über eine Diode 53 zurück zur Versorgungsquelle.

Zusammenfassend kann man sagen, dass der Transistor 50 die Versorgungsspannung für die Spule 51 abwechselnd an- und abschaltet. Die Grösse des Stromflusses durch die Spule wird durch die Zeiträume der Ein- und Abschaltung des Transistors 50 geregelt. Ist der Transistor 50 abgeschaltet, so fliesst der Strom durch die Diode 53. Ist der Transistor eingeschaltet, so fliesst der Strom über die Diode 53 zurück zur Versorgungsquelle. Der Transistor 54 kommutiert die Gleichrichterelemente und schaltet diese hierdurch an und ab.

Die Bürsten eines konventionellen Motors nach Art der gedruckten Motoren kommen mit allen Leitern der Wicklung in Kontakt. Im Fall des vorliegenden Motors wird nur jeder dritte Leiterzug benutzt, was aber keine nachteilige Auswirkung auf den Motor hat.

Wie schon zuvor gesagt, ist das An- und Abschalten der Gruppen von Gleichrichterelementen eine Funktion der Position der rotierenden Magnete. In einem solchen Fall ist die Verwendung eines absoluten Codierers, wie in Fig. 9A und 9B gezeigt, erforderlich, um die notwendige Information in Bezug auf die Rotorposition an die elektrische Steuerung weiterzugeben. Allgemein werden die Gleichrichterelemente in der folgenden Reihenfolge eingeschaltet: 63 und 78, 64 und 79, 65 und 80, 66 und 81, 67 und 82, 68 und 83, 69 und 74, 70 und 75, 71 und 76, und 72 und 77. Entsprechend dieser Reihenfolge wird ein Polpaar (Nord- und Südpol) über die Oberfläche der Statorwicklung bewegt. Der Codierer für diesen Motor kodiert zehn definierte Positionen von gleicher Dauer. Der Codierer erzeugt ebenfalls einen Gray-Code, beispielsweise einen solchen, bei dem gleichzeitig immer nur ein Bit sich ändert.

Das Ausgangssignal des Codierers, beispielsweise jenes der Abtastorgane 45 und 49, wird dem Decodierer 43 zugeführt (Fig. 9A), welcher daraus die Positionsdaten der Magnete ableitet. Die Ausgangssignale des Decodierers 43 werden den verschiedenen Gleichrichterelemente 63 bis 82 zugeführt.

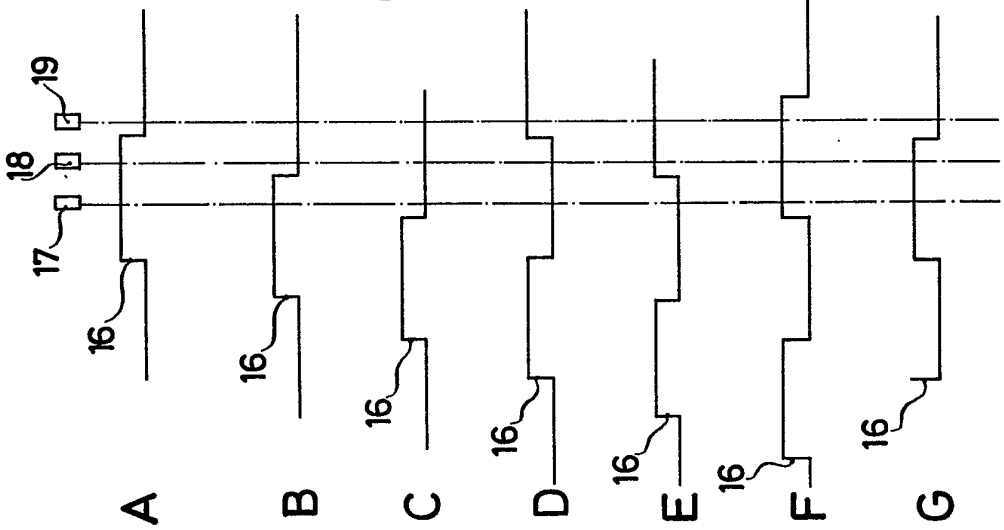
Zur Erzielung einer grösseren Motorleistung können Vier-Ebenen-Statorwicklungen derart benutzt werden, dass zwei in

Serie geschaltet werden. Eine einfache Serienschaltung hat sich als wenig brauchbar erwiesen, da erstens eine viel höhere Zahl an Schaltern benötig wird, und zweitens K_T und K_E halbiert werden, so dass schon für einen kleinen Motor übermässig hohe Stromstärken auftreten. In einer Weiterbildung der Erfindung werden daher die Leiterzüge der Statorwicklungen so an sechs Stellen unterteilt, dass eine Sternkonfiguration in der zweiten Statorwicklung vermieden wird. Jede Spule der zweiten Statorwicklung ist dann unabhängig und wird mit der entsprechenden Spule der ersten Statorwicklung verbunden, wie dies in Fig. 11A dargestellt ist. Diese Art der Stern-Verbindung hat den Vorteil, dass K_T und K_E im Vergleich zur einzelnen Vier-Ebenen-Statorwicklung verdoppelt werden. Bei Verwendung von zwei Statorwicklungen in Serie hingegen werden K_T und K_E vervierfacht. Ein weiterer Vorteil dieser Anordnung besteht darin, dass in diesem Fall nur sechs Schalter für drei Feldpositionen benötigt werden.

Bei Verwendung einer Zwei-Ebenen-Statorwicklung wird die Unterteilung in der Weise vorgenommen, dass in jedem 90°-Segment die Anzahl der Leiterzugenden-Paare bestimmt und durch sechs geteilt wird; wenn beispielsweise dreissig Enden vorliegen, wird jedes fünfte Endenpaar unverschweisst belassen, während alle anderen Endenpaare verschweisst sind, so dass sechs gleichmässige, unabhängige Spulen entstehen. Bei einer Vier-Ebenen-Statorwicklung kann genauso vorgegangen werden, nur ist die doppelte Anzahl von Leiterzugendenpaaren zu berücksichtigen. Bei einer ungeraden Anzahl von Endstellenpaaren weist eine gebildete Spule eine Windung mehr als die anderen auf.

Die Fig. 11A bis 11D zeigen die verschiedenen Konfigurationsmöglichkeiten, nach denen die sechs Spulen paarweise verbunden werden können. Fig. 11A zeigt eine Serien-Stern-Konfiguration, Fig. 11B eine parallele Stern-Konfiguration, Fig. 11C ist ein Beispiel für eine Dreiecks-Serienkonfiguration und Fig. 11D für eine Dreiecks-Konfiguration in Parallel-Schaltung. Durch die Stern-Konfiguration nach Fig. 11A wird K_T annähernd verdoppelt. Im allgemeinen hängt die zu wählende Konfiguration vom Anwendungsbereich des Motors ab.

FIG. 3



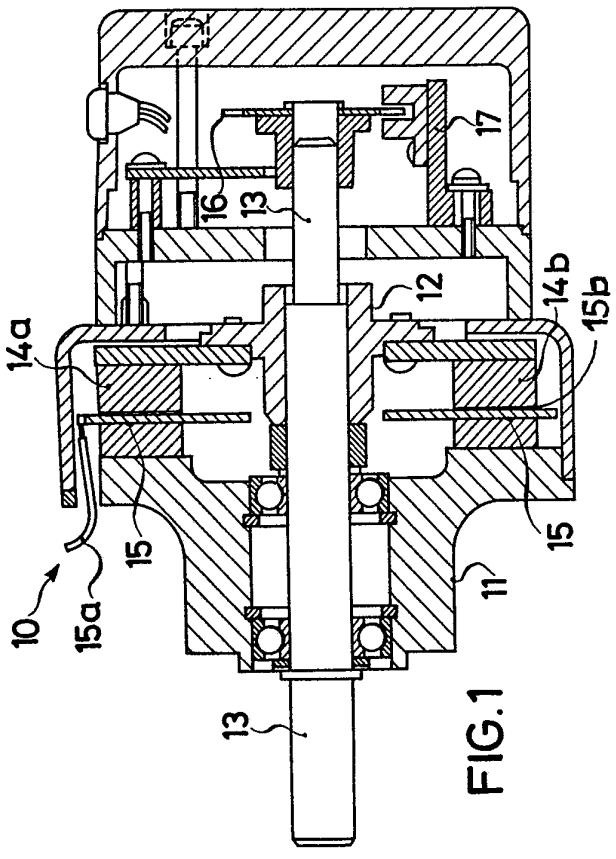


FIG. 1

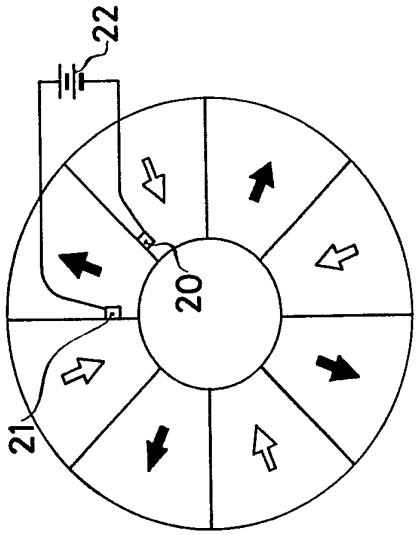


FIG.5

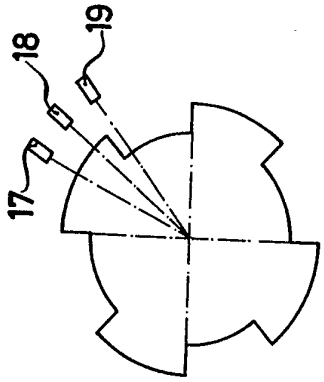


FIG. 2

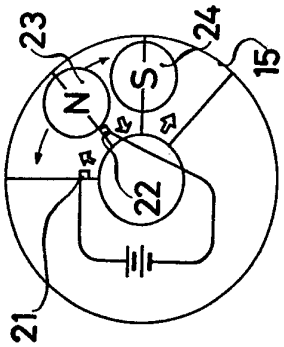


FIG. 6b

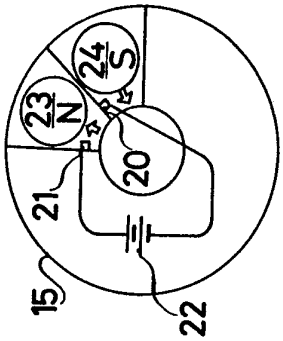


FIG. 6a

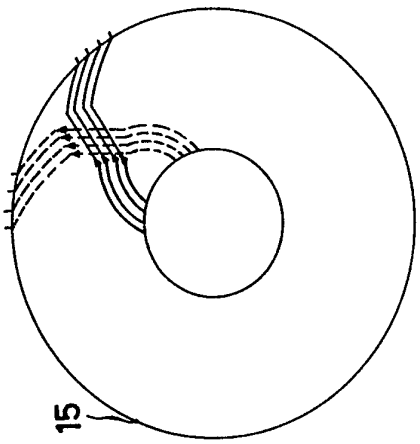


FIG. 4a

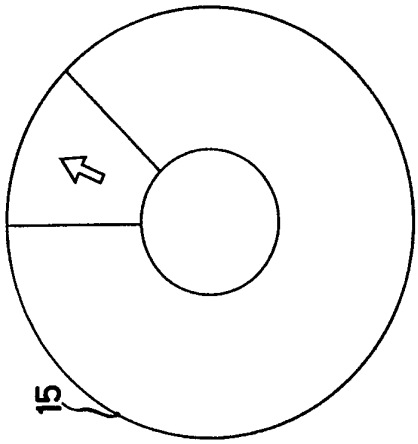
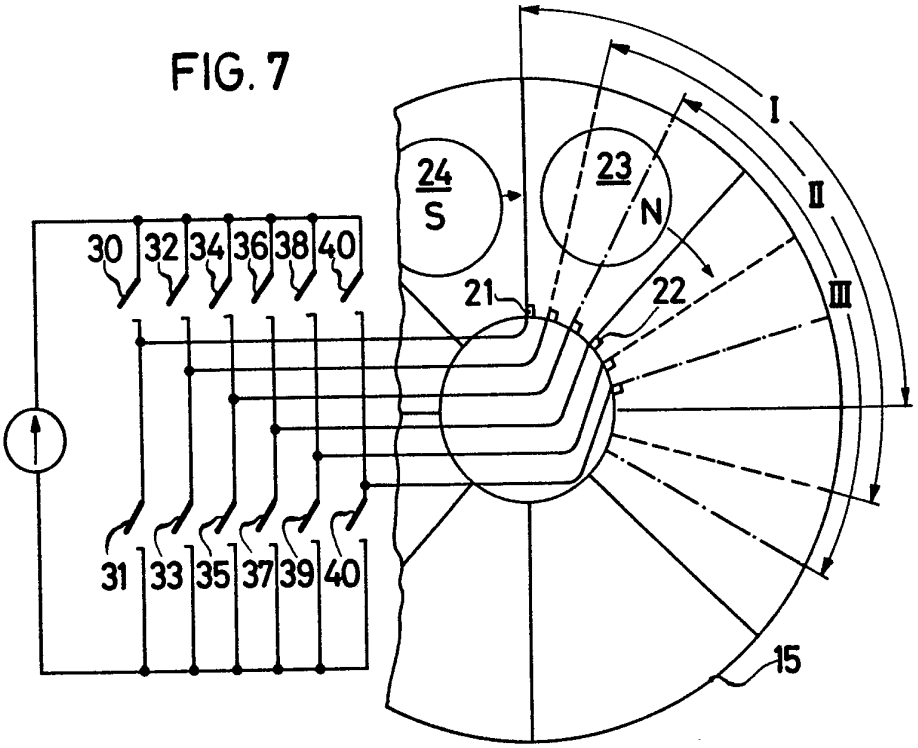


FIG. 4b

FIG. 7



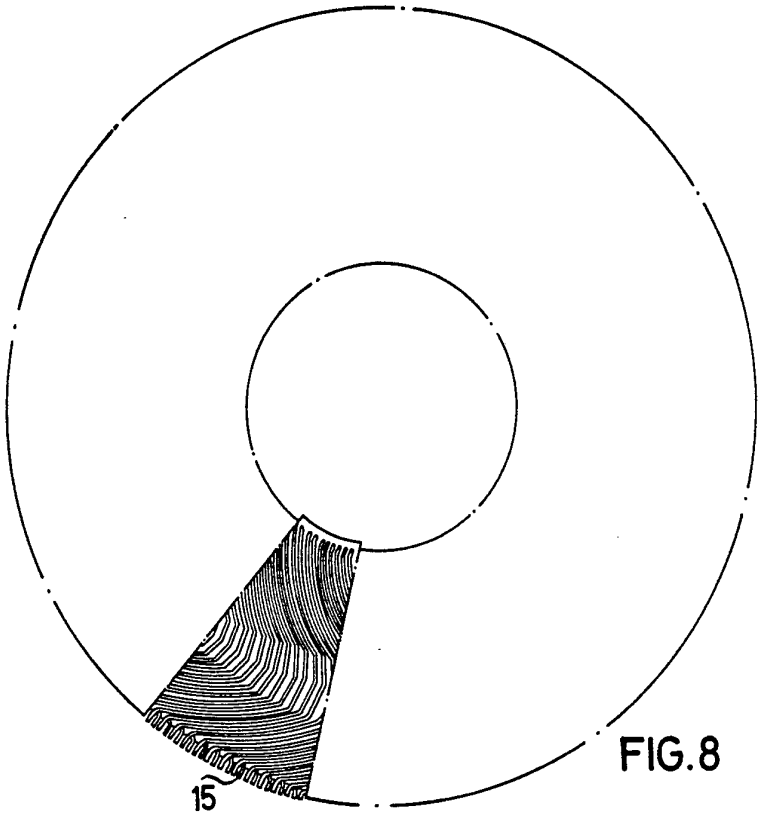


FIG. 8

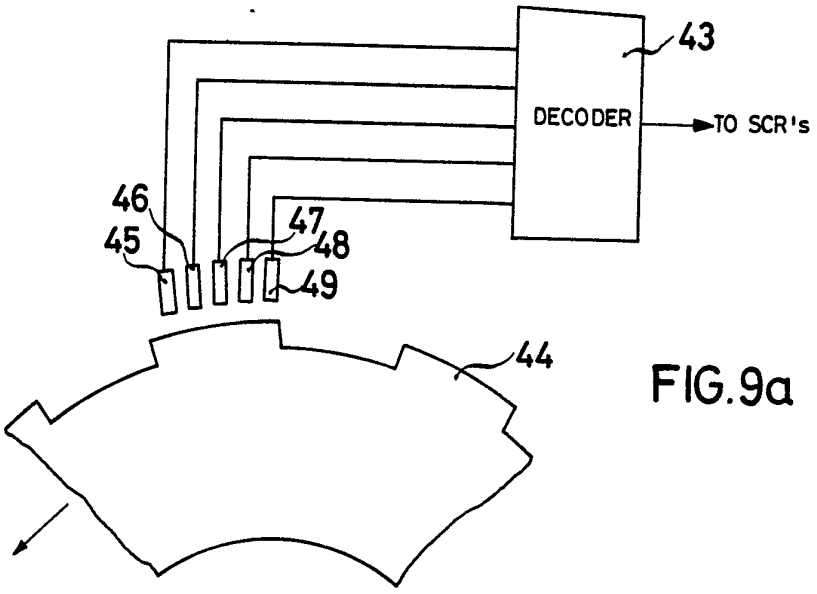


FIG.9a

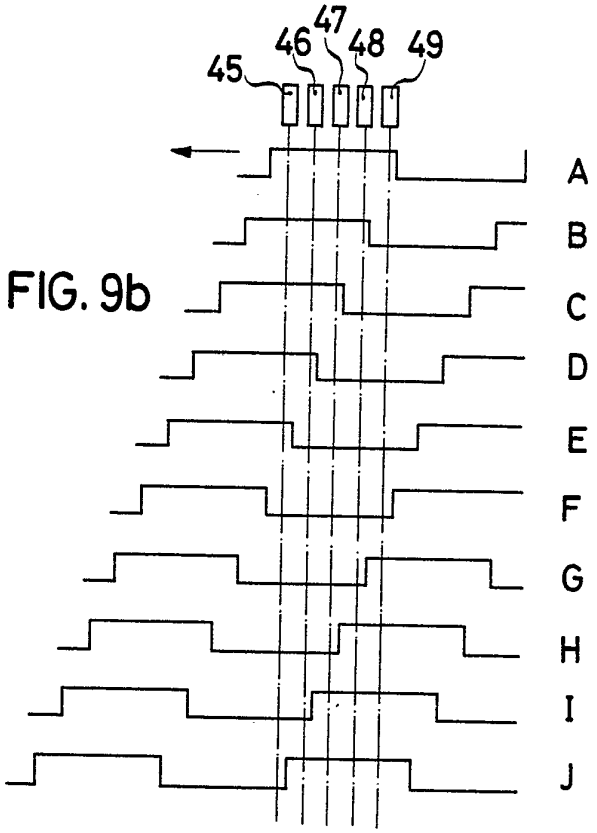


FIG. 9b

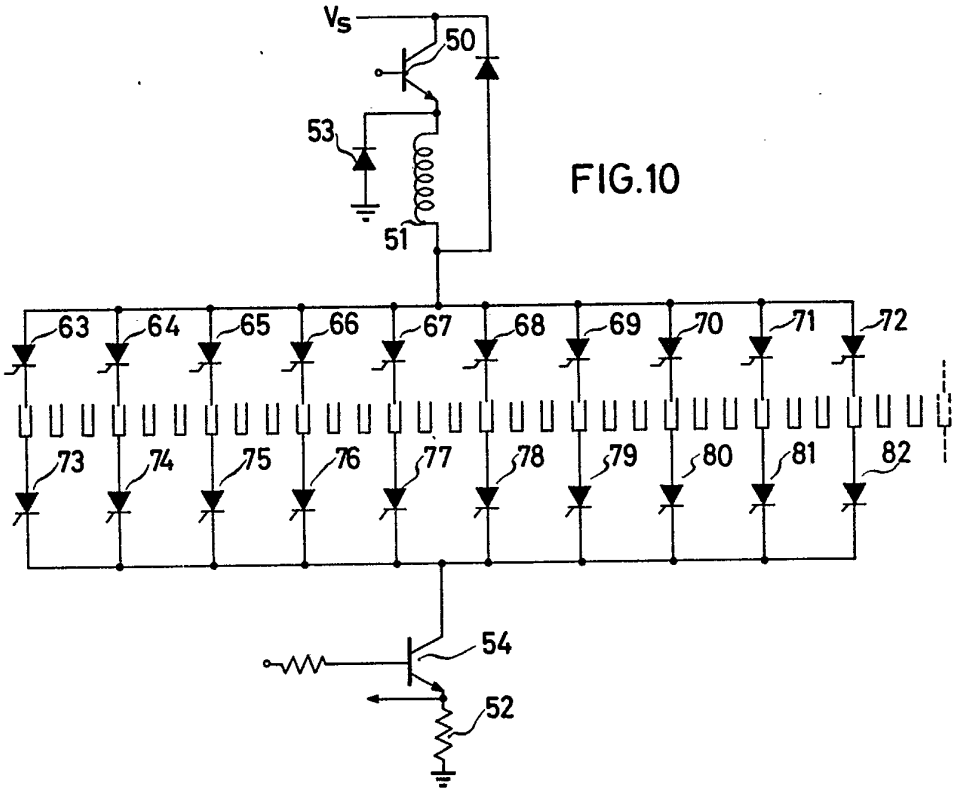


FIG.10

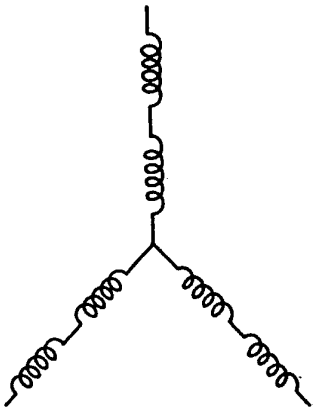
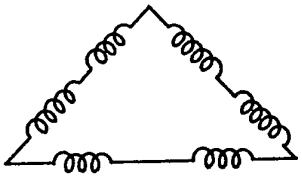


FIG.11a

FIG.11c



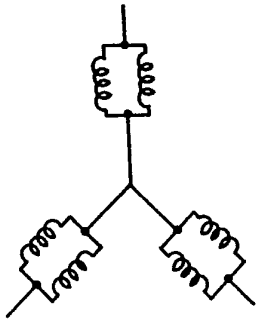


FIG.11b

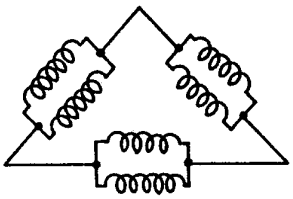


FIG.11d