



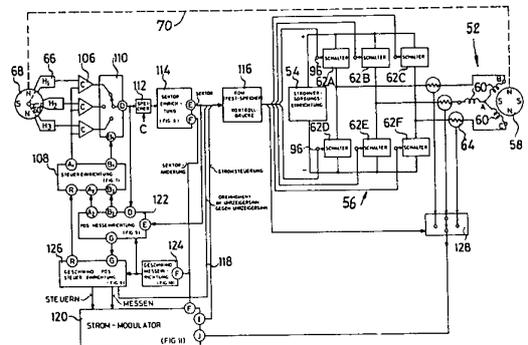
Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

<p>⑲ Gesuchsnummer: 4084/81</p> <p>⑳ Anmeldungsdatum: 19.06.1981</p> <p>㉓ Priorität(en): 20.06.1980 US 161579</p> <p>㉔ Patent erteilt: 31.08.1987</p> <p>④⑤ Patentschrift veröffentlicht: 31.08.1987</p>	<p>⑦③ Inhaber: Kollmorgen Technologies Corporation, Dallas/TX (US)</p> <p>⑦② Erfinder: Langley, Lawrence W., Christiansburg/VA (US) Kidd, H. Keith, Christiansburg/VA (US)</p> <p>⑦④ Vertreter: Patentanwalts-Bureau Isler AG, Zürich</p>
--	---

⑤④ **Elektromechanische Maschine zur Umwandlung elektrischer Energie in mechanische Energie.**

⑤⑦ Die elektromechanische Maschine weist einen bürstenlosen Gleichstrommotor (52) mit stromdurchflossenen Statorwicklungen (60) auf, die von einer Stromquelle (54) über eine Brückenordnung (56) von Schaltern (62) wahlweise mit Strom versorgt werden. Eine mit dem Rotor (58) verbundene Positionsmesseinrichtung (68) mit Sensoren (66) erfasst die Rotor/Statorlage. Eine Sektoren-Auswerteinrichtung (114) für die Wicklungen (60) leitet aus den Signalen der Sensoren (66) Signale ab, die dem Wicklungssektor der jeweiligen Rotorlage und dem Wechsel des Rotors zum nächsten Wicklungssektor entsprechen. Schaltungsanordnungen (124, 122) sind zum Ableiten eines der Läufergeschwindigkeit entsprechenden und eines einem weiteren mechanischen Betriebszustand entsprechenden Signals vorhanden. Eine Komparatoreinrichtung (106) und eine Strommodulatoreinrichtung (120) leiten ein Stromschaltsignal ab, das mittels eines in einer Speichereinrichtung (116) gespeicherten Programms der Brückenordnung (56) zugeführt ist, um die Wicklungen (60) des Motors (52) mit Strom zu beschicken. Diese elektromechanische Maschine weist bei unveränderter Ausbildung vielseitige Verwendungsmöglichkeiten auf.



PATENTANSPRÜCHE

1. Elektromechanische Maschine zur Umwandlung elektrischer Energie in mechanische Energie, mit einem bürstenlosen Gleichstrommotor (52) mit zueinander beweglich angeordneten Bauelementen, jeweils als Läufer (58) ausgebildetes Feldbauelement und als Stator ausgebildetes Wicklungselement, welches eine Mehrzahl von stromdurchflossenen Wicklungen (60) aufweist, die elektrische Sektoren definieren, wobei der Gleichstrommotor (5) mit einer Positionsmesseinrichtung (68) mit Sensoren (66) zum Erfassen der Stellung der Bauelemente zueinander versehen ist, sowie mit einer Brückenschaltung (56), die mit Wicklungen (60) verbunden ist und diese wahlweise mit Strom versorgt, dadurch gekennzeichnet, dass die Maschine eine Sektoren-Auswerteinrichtung (114) aufweist, die aus den von Positionssensoren (66) gelieferten Signalen sowohl Signale ableitet, die den Wicklungssektor anzeigen, in welchem sich der Läufer (58) jeweils befindet, als auch Signale, die dem Wechsel des Läufers (58) von einem Wicklungssektor zum nächsten entsprechen, dass die Maschine ferner eine Anordnung (124) zum Ableiten eines der Läufergeschwindigkeit entsprechenden Signals sowie eine Anordnung (122) zum Ableiten eines einem weiteren mechanischen Betriebszustand entsprechenden Signals enthält, und dass die Maschine eine Komparator- und Strommodulator-Einrichtung (106; 120; 400) zum Ableiten eines Stromschaltsignals enthält, das vermittels eines in einer Speichereinrichtung (116) gespeicherten Programmes der Brückenschaltung (56) zugeführt ist, um die Wicklungen (60) des Motors (52) mit Strom zu beschicken.

2. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Strommessenrichtung (64) zum Bestimmen des Wicklungsstromes sowie eine Steuereinrichtung (126) für die Läufergeschwindigkeit und die Läuferposition enthält, wobei die Anordnung (122) zum Ableiten eines einem weiteren mechanischen Betriebszustand entsprechenden Signals zur Ableitung eines der tatsächlichen Läuferposition entsprechenden Signals ausgebildet ist, und wobei die Komparator- und Strommodulator-Einrichtung (106, 120) zum Vergleichen von Soll- und Ist-Werten der Läufergeschwindigkeit und der Läuferposition sowie zum Ableiten eines Stromschaltsignals ausgebildet ist, um den Wicklungen (60) des Motors Strom zuzuführen, wenn der von der Strommessenrichtung (64) bestimmte Stromwert einen ersten Wert unterschreitet, und die Stromzufuhr zu unterbrechen, wenn das Stromwertsignal anzeigt, dass der Stromwert einen oberen Grenzwert überschreitet, und dass eine logische Anordnung (116) vorhanden ist, um die Brückenschaltung (56) in Abhängigkeit vom Stromschaltsignal derart zu steuern, dass die tatsächliche Geschwindigkeit des Läufers (56) bzw. die tatsächliche Position des Läufers annähernd gleich dem Sollwert ist.

3. Maschine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Anordnung (124) zum Ableiten des der Läufergeschwindigkeit entsprechenden Signals Taktgeber (304, 288) und Zählerschaltkreise (292) enthält, um die Zahl der Taktgeberimpulse zwischen Sektorwechselsignalen zu zählen.

4. Maschine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Anordnung (122) zum Ableiten eines der Läuferposition entsprechenden Signals weitere Schaltkreise zum Bestimmen der Ausgangsposition des Läufers sowie zur Vorhersage der künftigen Läuferposition aufweist, und dass Schaltkreise zum Vergleichen der Ausgangs- und der künftigen Position des Läufers und zum Liefern eines Signals bei Gleichheit beider Positionen vorhanden sind.

5. Maschine nach Anspruch 4, gekennzeichnet durch Schaltkreise, die den Masstab für die Vorausbestimmung der künftigen Läuferposition mittels eines in einen Speicher eingegebenen Programms derart wählen, dass bei relativ geringer Läufergeschwindigkeit die Positionierungs-Inkmente relativ klein und bei relativ hoher Läufergeschwindigkeit relativ gross sind.

6. Maschine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass

die Positionsmesseinrichtung zum Bestimmen der Läuferposition die quasi-linearen Teile der Spannungen der Sensoren (66), zum Beispiel von Hall-Messwertgebern, aufeinanderfolgend auswählt.

7. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Anordnung (122) zum Ableiten eines einem weiteren mechanischen Betriebszustand entsprechenden Signals zur Ableitung eines der mechanischen Ausgangsleitung der Maschine entsprechenden Signals ausgebildet ist, und dass Komparator- und Strommodulator-Einrichtung (400) zum Ableiten eines Stromschaltsignals mit variablem Schaltzyklus ausgebildet ist, das eine Beschickung der Wicklungen (60) des Motors mit Strom derart bewirkt, dass die mechanische Ausgangsleistung des Motors mindestens angenähert maximal wird.

8. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel (202, 200) vorhanden sind, um das Stromschaltsignal durch externe Steuersignale zu beeinflussen.

9. Maschine nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die von Messwiderständen (100) einer Strommessenrichtung (64) gelieferten Spannungen über Verstärker (102) mittels einer Schaltvorrichtung (128) und eines weiteren Verstärkers (356) Komparatoren (358) zugeführt werden, deren zweite Eingänge mit Analog-Spannungswerten eines D/A-Konverters (352) beaufschlagt sind, dass ferner die von den Positionssensoren (66) gelieferten Signale nach dem Verstärken durch Proportional-Verstärker (78) weiteren Komparatoren (106) zugeführt werden, deren zweite Eingänge mit Analog-Vergleichspannungswerten eines weiteren D/A-Konverters (142) beaufschlagt sind, dass die resultierenden fünf Digitalisignale an den Ausgängen der Komparatoren (358, 106) einem Mikrocomputer (500) zugeführt sind, wobei der Mikrocomputer (500) über ein Asynchron-Übertragungsglied (502) externe Befehle entgegennimmt, und dass der Mikrocomputer (500) sowohl die Schaltvorrichtung (128) als auch die D/A-Konverter (142, 352) und die Brückenschaltung (56) steuert.

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Maschine zur Umwandlung elektrischer Energie in mechanische Energie gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Konventionelle Gleichstrommotoren weisen Wicklungssätze auf, die während der Relativ-Bewegung zwischen beweglichen und stationären Teilen des Motors kommutiert werden. Dies gilt sowohl für Linear- als auch für Rotations-Motoren. Die Kommutation der Wicklungen hängt von der relativen Stellung der beweglichen und stationären Teile zueinander ab. In einem bürstenlosen Gleichstrommotor, der einen innerhalb des Stators rotierenden Rotor aufweist, kann die Stellung des Rotors relativ zum Stator optisch oder elektromagnetisch abgetastet werden, beispielsweise mittels Hall-Effekt-Sensoren, die am Stator befestigt und um eine auf der Rotorachse montierte magnetisierbare Scheibe angeordnet sind.

Der Schaltstrom in den Motorwicklungen kann durch eine Brückenschaltung erzielt werden. Die Brückenschaltung verwendet normalerweise Schutzdioden mit den Transistoren. Um einen übermässigen Energieverlust innerhalb der Transistoren zu vermeiden, wird allgemein Impulsbereiten-Modulation verwendet, so dass die Transistoren entweder ein- oder ausgeschaltet sind.

Konventionell wird der Steuerkreis für den Motor als von diesem selbst getrennte Einheit betrachtet, die getrennte Steuerkreise für die spezifischen Motorfunktionen ausweist. Weiterhin wurden für unterschiedliche Aufgaben verschiedene Motoren verwendet. So gibt es beispielsweise Drehmoment-Motoren, Servomotoren, Schrittmotoren etc., von denen jeder einen getrennten Steuerkreis aufweist. Obwohl konventionell, sind diese Motorausführungen teuer, unökonomisch und verschwenderisch.

Durch die vorliegende Erfindung sollen die obengenannten Nachteile vermieden werden. Erfindungsgemäss weist die elektromechanische Maschine die im kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1 angeführten Merkmale auf.

Die erfindungsgemässe elektromechanische Maschine ermöglicht bei unveränderter Ausbildung der Maschine vielseitige Verwendungen, beispielsweise eine Geschwindigkeits- und Positionsbestimmung, die Erzielung einer maximalen Energieausbeute oder eines optimalen Wirkungsgrades, usw.

Einzelheiten des Erfindungsgegenstandes werden nachstehend anhand der Zeichnungen beispielsweise erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Blockdiagramm der erfindungsgemässen elektromechanischen Maschine;

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Hall-Sensors gemäss Fig. 1.

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines Schalters der Brückenschaltung gemäss Fig. 1;

Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Strommesskreises gemäss Fig. 1;

Fig. 5 eine graphische Darstellung der Hall-Messspannungen der Hall-Sensoren gemäss Fig. 1;

Fig. 6 ein Funktionsblockdiagramm einer Sektoreinrichtung gemäss Fig. 1;

Fig. 7 ein schematisches Diagramm einer Steuereinrichtung gemäss Fig. 1

Fig. 8 ein Funktionsblockdiagramm einer Positionsmesseinrichtung gemäss Fig. 1;

Fig. 9 ein Funktionsblockdiagramm einer Positions/Geschwindigkeits-Steuereinrichtung gemäss Fig. 1;

Fig. 10 ein Blockdiagramm einer Geschwindigkeits-Messeinrichtung gemäss Fig. 1;

Fig. 11 ein Blockdiagramm eines Strommodulators gemäss Fig. 1 zur Feststellung der Geschwindigkeit des Motors;

Fig. 12 ein Blockdiagramm eines Strommodulators gemäss Fig. 1 zur Leistungübertragung mit maximaler Ausbeute;

Fig. 13 ein Blockdiagramm eines Strommodulators gemäss Fig. 1 zur Maximierung der Motorleistung; und

Fig. 14 ein Funktionsblockdiagramm der erfindungsgemässen elektromechanischen Maschine, ausgestattet mit einem programmierten Digital-Mikrocomputer.

Fig. 1 stellt eine Vorrichtung zur elektromechanischen Energieumwandlung dar, bestehend aus einem Gleichstrommotor 52, der mit einer Stromquelle 54 über eine Brückenschaltung 56 verbunden ist. Beispielsweise kann der Motor 52 ein bürstenloser, vierpoliger Rotationsmotor sein mit einem permanentmagnetischen Läufer 58 und einem dreiphasigen Stator, der über eine Sternschaltung mit den Wicklungen 60 verbunden ist. Die Brückenschaltung 56 weist sechs paarweise angeordnete Schalter 62 auf mit je einem Paar für jede der drei Wicklungen 60. Jedem Schalterpaar und jeder Wicklung ist ein Strommesswertgeber 64 zwischengeschaltet.

Drei mit H1, H2 und H3 bezeichnete Hall-Messwertgeber 66 messen die relative Position von Stator und Läufer. Die Hall-Messwertgeber 66 sind am Stator befestigt und entlang der Peripherie einer magnetischen Scheibe 68 angeordnet, die mechanisch mit dem Läufer 58 verbunden ist (gestrichelte Linie 70).

In Fig. 2 enthält jeder Hall-Messwertgeber 66 einen Hall-Generator 72, dem eine Gleichstrom-Vorspannung anliegt. Das Ausgangssignal des Generators 72 wird als Eingangssignal auf den Verstärker 78 gegeben, der durch die Widerstände 80 und 82 vorgespannt ist. Das magnetische Feld B der Scheibe 68 geht durch den Generator 72 und verursacht eine sinusförmige Modulation der Ausgangsspannung. Das Ausgangssignal des Hall-Generators 72 wird linear durch den Verstärker 78 verstärkt. In Fig. 3 weist jeder Schalter 62 einen Transistor 86 auf, dessen Kollektor und Emitter über eine Diode verbunden sind, um so einen Strompfad für den Wicklungsstrom herzustellen, wenn der Transistor 86 abgeschaltet ist. Widerstand 90 und Kondensator 92 filtern Ausgleichsströme. Ein Basistreiber 94 schaltet den Transistor 86 ein und aus und ist optisch über eine Photodiode 98 mit Eingang 96 verbunden. Der Basistreiber 94 wird von einer herkömmlichen Stromquelle (nicht dargestellt) mit Strom versorgt.

In Fig. 4 weist der Strommesswertgeber 64 einen niederohmigen Strommesswiderstand 100 auf, der einen Spannungsabfall proportional zum Wicklungsstrom bewirkt, welcher durch den Verstärker 102 verstärkt wird. Die Polarität des Ausgangssignals des Verstärkers 102 wechselt, wenn der durch den Widerstand 100 fließende Strom die Richtung wechselt.

Die drei Hall-Sensoren 66 sind um 60 mechanische Grade versetzt voneinander getrennt entlang der Peripherie der Scheibe 68 angeordnet, was einem Abstand von 120 elektrischen Graden in der graphischen Darstellung in Fig. 5 entspricht. Der Abstand von 60 mechanischen Graden entspricht einem solchen von 120 elektrischen Graden, da die Scheibe 68 vier magnetische Pole aufweist. Die Wellenform in Fig. 5 wiederholt sich alle 360 elektrische Grad, was einer Drehung von 180 mechanischen Graden entspricht. Bei Verwendung eines 8poligen Läufers würde sich die Wellenform alle 90 Grad mechanischer Drehung wiederholen.

Die Kommutation der Wicklungsströme 60 erfolgt alle sechzig elektrische Grad, was einem Wechsel der Wicklungsstrom-Richtung nach je dreissig mechanischen Rotationsgraden des Läufers 58 entspricht. Die Scheibe 68 ist auf dem Läufer 58 derart angebracht, dass jeweils beim Nulldurchgang der Hallspannung Kommutationssignale gegeben werden, was nach jeweils sechzig elektrischen Graden der Fall ist. Damit sind Sektoren von jeweils 60 elektrischen Grad definiert. Bei Verwendung eines Vierpol-Motors wird der gesamte Kommutiervorgang während einer Läuferumdrehung zweimal wiederholt. Wie später noch dargelegt wird, kann das Ende eines 60°-Sektors sehr einfach durch Vergleichen der Hall-Ausgangsspannung mit einem Referenzsignal der Spannung 0 festgestellt werden. Wird eine abweichende Vergleichsspannung benutzt, so können entsprechende, andere Läuferpositionen bestimmt werden. Die sinusförmigen Kurven H1 bis H3 in Fig. 5 weisen in der Nähe der horizontalen Achse ausreichende lineare Abschnitte auf, um die Position des Läufers 58 als proportional zum Wert der Hall-Spannung in dieser Gegend anzusehen. Es ist auch möglich, von einer Kurve auf die andere zu schalten, um aufeinanderfolgende, quasilineare, die Läuferposition anzeigende Spannungen zu erhalten.

In Fig. 1 weist die elektromechanische Maschine die Komparatoren 106 auf, die die Hall-Spannung mit einem vom Anschluss A1 der Steuereinrichtung 108 stammenden Referenzsignal vergleichen. Die Steuereinrichtung 108 wird in Fig. 7 beschrieben. Die Ausgänge der Komparatoren 106 sind über den Schalter 110 mit dem Speicher 112 verbunden, der die Werte der Komparator-Ausgangsspannungen speichert. Jede Komparator-Ausgangsspannung ist entweder hoch (logische 1) oder niedrig (logische 0). Die logische 1 liegt vor, wenn die Hall-Spannung grösser ist als die Vergleichsspannung, während die logische 0 vorliegt, wenn die Hall-Spannung geringer ist als die Vergleichsspannung. Die drei im Speicher 112 gespeicherten Komparator-Ausgangssignale stellen ein 3-Bit Digital-Signal im Gray-Code dar, das — wie in Fig. 5 gezeigt — eindeutig einen der sechs Kommutations-Sektoren kennzeichnet. Die Sektoreinheit 114 (in Fig. 6 beschrieben) wandelt die Zahl im Speicher 112 vom Gray-Code in ein Standard-Logik-Format um. Ein Kennungssignal für den Sektor erscheint am Ausgang E der Sektoreinheit 114, während ein Sektoränderungssignal am Ausgang F erscheint.

Die Brückenschaltung 56 wird durch Signale vom programmierbaren Festspeicher 116, beispielsweise einem Mikrocomputer oder Mikroprozessor, gesteuert. Der Festspeicher 116 wird angesprochen vom Sektoridentifikationssignal am Anschluss E,

einem Drehmoment-Befehlsignal auf der Leitung 118 und Stromsteuersignalen vom Anschluss I des Strommodulators 120 (der später noch beschrieben wird). Der Festspeicher 116 hat ausreichende Speicherkapazität für jede erlaubte Kombination von Signalen für die sechs Steuereingänge 96 der sechs Schalter 62.

Um die Beschreibung der Brückenschaltung zu vereinfachen, werden die einzelnen Schalter 62 mit den Buchstaben A bis F bezeichnet und die Wicklungen 60 mit den Buchstaben A bis C. Werden beispielsweise die Schalter 62A und 62E auf Stromdurchlass geschaltet, fließt ein Strom von der Wicklung 60B in die Wicklung 60A. Dreht der Läufer 58 in die entgegengesetzte Richtung, sind die Schalter 62B und 62D auf Stromdurchlass geschaltet und der Strom fließt von der Wicklung 60A in die Wicklung 60B. Die Impulsbreitenmodulation wird durch Messen der Zeiträume, während derer die verschiedenen Schalter auf Stromdurchlass geschaltet sind, bewirkt.

Die Steuereinrichtung 108 liefert ein Referenzsignal am Anschluss A1 für die Komparatoren 106 sowie ein Sektorwahlsignal am Anschluss B1 für die Schalteinrichtung 110 entweder zur Auswahl eines bestimmten Komparators oder der Abfrage-reihenfolge aller Komparatoren. Das Referenzsignal am Anschluss A1 und das Wahlsignal am Anschluss B1 der Steuereinrichtung 108 können durch eine geeignete Schaltung innerhalb des Reglers 108 erzeugt werden, oder sie können einfach durch Verbindung über die Anschlüsse A2 und B2 einer Positionsmesseinrichtung 122 (die in den Fig. 7 und 8 beschrieben wird) diesem zugeführt werden.

Die Positionsmesseinrichtung 122 wird verwendet, um die Position des Läufers 58 genau zu verfolgen, wenn die Vorrichtung 50 zur Positionsbestimmung verwendet wird. Die Positionsmessung erfolgt durch Festlegen eines Wertes für das Referenzsignal am Anschluss A1 entsprechend dem Wert der später zu erreichenden Hall-Spannung, und zum Liefern eines Signales an den Anschlüssen B1 und B2 zur Auswahl des entsprechenden Komparator-Ausgangssignals. Ändert sich der logische Pegel des Signals am Eingang D, so wird dadurch angezeigt, dass der Läufer 58 die dem Wert des Referenzsignales am Anschluss A1 entsprechende Position erreicht hat.

Eine Geschwindigkeitsmeseinrichtung 124 dient zum Messen der Geschwindigkeit des Läufers 58 für den Fall, dass die Maschine als Geschwindigkeits-Servo dient. Die Geschwindigkeitsmeseinrichtung 124 misst die Geschwindigkeit entweder durch Zählen der Sektoränderungssignale am Ausgang F über einen vorherbestimmten Zeitraum, oder durch Zählen der Taktgeberimpulse zwischen Sektoränderungssignalen am Ausgang F und Bilden des reziproken Wertes. Die erste Methode zur Geschwindigkeitsbestimmung wird vorzugsweise für hohe Umdrehungszahlen, die zweite für niedrige Umdrehungszahlen gewählt. Eine Geschwindigkeits-/Positionsmesseinrichtung 126 wählt entweder die Positionsmessung am Ausgang G der Positionsmesseinrichtung 122 oder die Geschwindigkeitsmessung am Ausgang M der Geschwindigkeitsmeseinrichtung 124 und verbindet diese mit dem Eingang L des Strommodulators 120 (der im Zusammenhang mit Fig. 9 näher beschrieben wird). Die Steuereinrichtung 126 steuert ebenfalls die Steuereinrichtung 108 über ein Signal am Anschluss R, um entweder die Referenz- und Auswahlsignale der Anschlüsse A2 bzw. B2 oder die entsprechenden Signale der Anschlüsse A1 und B1 dem Komparator 106 und der Schalteinrichtung 110 zuzuführen. Zusätzlich bestimmt die Steuereinrichtung einen spezifischen Wert für Geschwindigkeit oder Position am Eingang K, der dem Strommodulator 120 zugeführt wird und zur Steuerung der Geschwindigkeit bzw. Position für die Maschine dient. Wie später in Fig. 11 dargestellt, vergleicht der Modulator 120 die Steuerwerte mit den tatsächlich gemessenen Werten an den Eingängen K und L und erzeugt hieraus ein Stromsteuersignal am Eingang I.

Das Stromsteuersignal am Eingang I des Modulators 120 dient als Teilinformation für den Festspeicher 116 und bewirkt die Impulsbreitenmodulation der Ströme in den Wicklungen 60. Die Impulsbreitenmodulation erfolgt durch Festsetzen veränderbarer oberer und unterer Grenzwerte für einen gewünschten Mittelwert der Ströme in den Wicklungen 60. Das Stromsteuersignal am Ausgang I wird immer dann ausgelöst, wenn der am Ausgang J gemessene Strom unter den unteren Grenzwert absinkt, und wird gestoppt, wenn der am Eingang J gemessene Strom über den oberen Grenzwert ansteigt.

Die Schalteinrichtung 128 wird vom Festspeicher 116 gesteuert und wählt den geeigneten Stromsensor 64 zum Messen des Stromes am Eingang J, je nachdem, welche Wicklungen mit Strom versorgt sind. So kommutiert der Festspeicher 116 sowohl den Wicklungsstrom als auch die Signale der Stromsensoren 64. Im vorangehenden Beispiel, in dem Strom durch die Wicklungen 60A und 60B fließt, aber kein Strom durch die Wicklung 60C, verbindet der Schalter 128 den Eingang J entweder mit dem Sensor 64A oder 64B, nicht aber mit dem Sensor 64C. In Fig. 6 weist die Sektoreinrichtung 114 den Festspeicher 130, die Verzögerungsglieder 132 und 134, und die Komparatoren 136 und 138 auf. Die Sektoreinrichtung 114 konvertiert das Gray-Code-Signal im Register 112 in Sektoridentifikationssignale am Eingang E und die Sektorwechselsignale am Eingang F. Wie in Fig. 6 dargestellt, gibt es zwei Sektorwechselsignale: eines, das den Sektorwechsel bei Rotation des Läufers 58 im Uhrzeigersinn, und das andere, das den Sektorwechsel bei Rotation des Läufers 58 entgegen dem Uhrzeigersinn anzeigt. Als Antwort auf eine Adresse vom Register 112 liefert der Festspeicher 130 drei Digitalworte. Das erste ist eine numerische Identifizierung des gegenwärtigen Sektors; das zweite ist eine numerische Identifizierung des nächsten Sektors bei Rotation des Läufers 58 im Uhrzeigersinn; und das dritte ist eine numerische Identifizierung des nächsten Sektors bei Rotation des Läufers 58 entgegen dem Uhrzeigersinn.

Die Sektoreinrichtung 114 sowie andere Einrichtungen in Fig. 1 werden über Impuls- und Taktgebersignale eines in der Steuereinrichtung 126 untergebrachten Taktgenerators gesteuert. Der gegenwärtige und der nächste Sektor werden ständig miteinander verglichen durch die Komparatoren 136 und 138 als Reaktion auf die vom Taktgenerator erzeugten Taktgebersignale. Die Verzögerungsglieder 132 und 134 verzögern die Eingabe der entsprechenden Sektorsignale auf die Komparatoren 132 und 134, so dass die Ausgangssignale der Komparatoren einen Vergleich zwischen dem gegenwärtigen Sektor und dem vorhergesagten Sektor darstellen. Während eines Sektordurchgangs erfolgt eine Vielzahl von Taktgeberimpulsen und somit eine Vielzahl von Vergleichen. Wird von keinem der Komparatoren eine Übereinstimmung gefunden, so liefern beide Ausgänge eine logische 0, womit angezeigt wird, dass kein Sektorwechsel stattgefunden hat. Hat ein Sektorwechsel im Uhrzeigersinn stattgefunden, dann entspricht der Wert des gegenwärtigen Sektors dem vorhergesagten Wert des nächsten Sektors bei Drehung im Uhrzeigersinn und der Komparator 138 liefert eine logische 1. Hat ein Sektorwechsel bei Umdrehung entgegen dem Uhrzeigersinn stattgefunden, entspricht der Wert des gegenwärtigen Sektors dem für den nächsten Sektor entgegen dem Uhrzeigersinn vorhergesagten und der Komparator 136 liefert eine logische 1.

In Fig. 7 weist die Steuereinrichtung 108 die Anschlüsse A1, B1, A2, B2 und R auf, die bereits in Fig. 1 beschrieben wurden. Die Steuereinrichtung 108 ist weiterhin ausgestattet mit dem Schaltkreis 140, dem Digital/Analog-Konverter 142, dem Vergleichssignalgeber 144 (wie z.B. einem Digital-Codierer, der ein Null-Referenz-Signal erzeugt) und dem Zählwerk 146 (das Modulo-3 zählt). Die Modulo 3-Zählung entspricht den drei Hall-Sensoren 66 aus Fig. 1. Wie in Fig. 7 gezeigt, schaltet der Schaltkreis 140 ein Referenzsignal vom Anschluss A2 auf den

Anschluss A1, wobei dieses Referenzsignal von den Komparatoren 106 zum Vergleich mit der sinusförmigen Wellenform, wie sie bei der Drehung der Scheibe 68 in den Hall-Sensoren 66 entsteht, verwendet wird. Wie ebenfalls dargestellt, schaltet der Schaltkreis 140 das Hall-Wählsignal vom Anschluss B2 auf den Anschluss B1 und bewirkt so die Betätigung des Schalters 110 in Fig. 1 zur Auswahl eines Komparators 106 und seines entsprechenden Hall-Sensors 66. Die Signale an den Anschlüssen A2 und B2 stammen von der Positionsmesseinrichtung 122.

In der anderen Stellung des Schaltkreises 140 stammt das Referenzsignal für den Anschluss A1 vom Vergleichssignalgeber 144 und das Wählsignal am Anschluss B1 vom Zählwerk 146. Auf das Taktgebersignal des Taktgenerators hin gibt das Zählwerk 146 drei aufeinanderfolgende Adressen an die Schalteinrichtung 110, das dann nacheinander die Ausgangssignale an den Komparatoren 106 abfragt. Der Schalter 140 wird durch das von der Steuereinrichtung 126 stammende Signal am Anschluss R in Tätigkeit gesetzt.

In Fig. 8 weist die Positionsmesseinrichtung 122 das Zählwerk 180, einen Geber 182 für ein die Zahl 2 darstellendes Digitalwort, den Summierer 184, das Register 186, den Schalter 188 und die Festspeicher 190 und 192 auf. Der Festspeicher 192 gibt das Referenzsignal am Anschluss A2 und das Sektorsignal am Anschluss B2 als Reaktion auf eine Adresse vom Festspeicher 190, die die Läuferposition in elektrischen Graden angibt. Wie aus der graphischen Darstellung 194 ersichtlich, ist das Referenzsignal am Anschluss A2 ein Stufensignal, das der Sinus-Wellenform der Hall-Sensoren 66 folgt, wenn der Läufer 58 in Rotation ist. Die Referenzsignal-Werte gehen den entsprechenden Werten der Hall-Spannung voran; mit anderen Worten: das System wartet, bis der Läufer 58 ein Inkrement seiner Drehbewegung gemacht hat, das die Hall-Spannung auf den Wert des Referenzsignals abfallen oder ansteigen lässt. Sobald dies eintritt, wechselt einer der Komparatoren 106 seinen Zustand und zeigt damit an, dass der Läufer 58 eine definierte spezifische Position erreicht hat.

In Fig. 5 ist dargestellt, dass nur die linear verlaufenden Teile der Hall-Spannung genutzt werden. Entsprechend sind in der graphischen Darstellung 194 der Fig. 8 die stufenweisen Änderungen des Referenzsignals nur in den linearen Bereichen des Verlaufs der Hall-Spannung dargestellt. Nach Fig. 5 wird im Mittelpunkt eines jeden Sektors eine andere Hall-Spannung gewählt, so dass nur lineare Teile benutzt werden. Die Übergänge werden vom Schalter 110 der Fig. 1 bewirkt, der seinerseits auf die Signale an den Anschlüssen B1 und B2 reagiert. Da der Festspeicher 192 sowohl das Referenzsignal am Anschluss A2 als auch das Sektorsignal am Anschluss B2 liefert, ist die Wahl der Hall-Spur für alle Referenzsignalwerte koordiniert. Der vom Zählwerk 180 gelieferte Wert bildet eine Teiladresse und wird über den Schalter 188 dem Festspeicher 192 zugeführt. Die andere Teiladresse wird vom Geschwindigkeitssignal am Anschluss M geliefert. Die vom Zähler 180 gelieferte Zahl auf der Leitung 198 entspricht — von einem Faktor abgesehen — der auf der Leitung 196 erscheinenden Position des Läufers 58. Wenn jeder Zählwert auf der Leitung 198 fünf Grad darstellt, so entsprechen 72 Zählwerte 360 Grad. Stellt jeder Zählwert auf der Leitung 198 zwanzig Grad dar, so entsprechen 18 Zählwerte 360 Grad. Gibt der Festspeicher 190 das Digitalwort, das 360 Grad entspricht, so bewirkt dieser gleichzeitig ein Rückstellsignal, das an den Rückstelleingang des Zählers 180 über die Leitung 200 geliefert wird, um das Zählwerk 180 auf Null zurückzustellen. Der vom Festspeicher 190 verwendete Skalenfaktor wird durch das Geschwindigkeitssignal am Anschluss M bestimmt. Der Festspeicher 190 verfügt über verschiedene Wortgruppen, die auf der Leitung 196 an den Speicher 192 geliefert werden, wobei jede Wortgruppe einer gewählten Geschwindigkeit am Anschluss M entspricht. Als Folge der Wahl verschiedener Skalenfaktoren steigen die stufenweisen Inkremente des

Referenzsignals am Anschluss A2 mit steigender Geschwindigkeit an, wogegen sich die Schrittzahl pro Sektor reduziert. Aufgrund dieser Skalenauswahl bleibt die Anzahl der Abfragen der Komparatoren 106 trotz grosser Änderungen der Rotationsgeschwindigkeit im wesentlichen konstant.

Da das Zählwerk 180 alle 360 elektrischen Grad zurückgestellt wird, ist ein zweites Zählwerk 202 zum synchronen Zählen mit dem Zählwerk 180 vorgesehen, jedoch ohne Zurückstellung. Der Zählwert am Zählwerk 202 gibt damit die gegenwärtige Läuferposition an, bzw. die einer Last, die mechanisch, etwa über ein Getriebe, mit dem Läufer 58 verbunden ist.

Das Zählwerk 180 muss vorwärts und rückwärts, je nach Läuferdrehrichtung, zählen können. Zum Feststellen der richtigen Zählrichtung wird ein Wert 1 des Digitalwortgenerators 182 vom Zählwert auf der Leitung 198 mittels des Summier-Registers 184 abgezogen und die Differenz im Register 186 gespeichert. Dem Schalter 188 stehen so zwei Eingangssignale zur Verfügung, und zwar zum einen über die Leitung 198 der Zählwert, und zum anderen vom Register 186 der um «1» verringerte Zählwert. Der Schalter 188 wird über die Schaltleitung 206 vom Flip-Flop 204 aktiviert, der seinerseits durch die Taktgeber-Impulse des Taktgenerators gesteuert wird. Das Schaltsteuersignal auf der Leitung 206 wird aber das Register 208 zugleich den Vorwärts-/Rückwärts-Anschlüssen der Zählwerke 180 und 202 zugeführt.

Das Ausgangssignal des Hall-Komparators am Anschluss D des Schalters 110 in Fig. 1 ist über den Schalter 216 mit dem Register 208 verbunden, so dass auf dieses das Schaltsteuersignal über den Schalter 216 gegeben wird. Das Auftreten des Komparatorausgangssignals auf der Leitung 210 zeigt an, dass ein erfolgreichen Vergleich zwischen der Hallspannung und entweder dem Referenzsignal, das dem Zählwert auf der Leitung 198 entspricht, oder demjenigen, das dem um den Wert 1 reduzierten Zählwert vom Speicher 186 entspricht, durchgeführt wurde. Die Umschaltung zwischen dem Zählwert auf der Leitung 198 und dem reduzierten Zählwert ist auch in der graphischen Darstellung 194 dargestellt, wo der Wert des Referenzsignals hin- und herschwingt, was durch die gepunktete Linie 212 angedeutet ist. So stellt das Schaltsteuersignal auf Leitung 206 bei gleichzeitigem Auftreten eines Ausgangssignals des Hall-Komparators auf Leitung 210 die Drehrichtung des Läufers 58 dar. Durch Eintakten des Signals auf Leitung 206 auf das Register 208 werden die Zählwerke 180 und 202 veranlasst, entsprechend der Drehrichtung des Läufers 58, vorwärts oder rückwärts zu zählen. Um zu vermeiden, dass die Zählwerke 180 und 202 in Aktion treten, bevor das Schaltsteuersignal auf das Register 208 gegeben und die Zählrichtung bestimmt wurde, ist ein Verzögerungsglied 214 zwischen der Leitung 210 und den Zählwerken 180 und 202 vorgesehen.

In bezug auf die quasi-linearen Abschnitte der Kurven in Fig. 5 kann festgestellt werden, dass sich die verschiedenen Abschnitte in ihrer Neigung voneinander unterscheiden. Ein in der einen Neigung erhaltenes positives Fehlersignal entspricht einem negativen Fehlersignal in der folgenden Neigung. Um diesen Polaritätswechsel zu kompensieren, sind ein Schalter 216 und ein Stromrichter 218 zwischen dem Anschluss D und der Leitung 210 in Fig. 8 vorgesehen. Der Schalter 216 wird vom Festspeicher 192 synchron mit der Hall-Generator-Auswahl gesteuert und wählt entweder das Signal am Anschluss D oder dessen Komplement-Wert, so dass das Hall-Komparatorausgangssignal auf 210 immer die richtige Polarität aufweist, um das Register 208 abzufragen und die Zählwerke 180 und 202 in Gang zu setzen. Das Komparatorsignal auf der Leitung 210 fragt ebenfalls den Speicher 220 ab, um den Positionszählwert am Zählwerk 202 festzustellen, bevor dieses zur nächsten Zahl vorrückt.

Es ist ferner eine Aufnahmeschaltung zur ersten Bestimmung der Position des Läufers 58 vorgesehen, so dass die weitere Positionsbestimmung sich anschliessen kann. Die Aufnah-

meschaltung enthält den Festspeicher 222, den Summierer 224, das Näherungswert-Register 226 und den Inverter 228. Der Zählwert des Zählwerks 180 wird durch den Festspeicher 222 in den richtigen Sektor gebracht, der über den Summierer 224 mit dem vorab eingestellten Anschluss des Zählwerks 180 verbunden ist. Das Sektor-Signal am Anschluss E, auch in Fig. 1 dargestellt, spricht den Festspeicher 22 an, um den den Beginn dieses Sektors anzeigenden Zählwert zu liefern. Sodann beginnt das Zählwerk 180 am Beginn eines jeden Sektors mit dem Zählen. Dieser Zählwert wird dann vom Summierer 224 modifiziert, der zum Signal des Festspeichers 222 ein Signal des Registers 226 addiert. Anschliessend liefert das Näherungswert-Register 226 Digital-Wörter, die einem Satz von Zahlenwerten entsprechen, die im Wert schwanken und schliesslich bis zum Erreichen eines stabilen Wertes abnehmen. Das Register 226 wird über ein Rückkopplungssignal der Leitung 210 gesteuert und gibt dem Register 226 an, ob der Wert seines Ausgangs-Digitalwortes zu- oder abnehmen soll. Der logische Zustand (1 oder 0) des Signals auf der Leitung 210 hängt davon ab, ob der Wert des Referenzsignals grösser oder kleiner ist als der Wert der Hall-Spannung. Das Register 226 reagiert auf den logischen Pegel auf der Leitung 210 und rückt die angenommene Position des Läufers 58 vor, bis der logische Pegel auf der Leitung 210 wechselt; dann verringert das Register 226 die angenommene Position des Läufers 58. Am Ende einer solchen Folge von Annäherungen gibt der voreingestellte Zählwert des Zählers 180 ebenso wie derjenige des Zählers 222 die genaue Position des Läufers 58 an.

In Fig. 9 weist Geschwindigkeits/Positions-Steuereinrichtung 126 die Ausgänge M, G, L, K und R auf, wie in Fig. 1 dargestellt. Die Steuereinrichtung 126 enthält Schalter 250 und 252, einen Summierer 254, ein Register 256, einen Festspeicher 258, einen Taktgeber 260 und ein Zählwerk 262. Befinden sich die Schalter 250 und 252 in der dargestellten Position, wird die am Ausgang M gemessene Geschwindigkeit direkt auf Ausgang L gegeben und das Steuer-Geschwindigkeitssignal erscheint am Ausgang K. Das Steuergeschwindigkeitssignal wird vom Festspeicher 258 erzeugt unter Zugrundelegung einer gewünschten Position, in die der Läufer 58 gebracht werden soll. Der Festspeicher 258 wird in zweifacher Weise benutzt und bringt den Läufer 58 in einem zweistufigen Arbeitsgang in eine vorher bestimmte Position. Der erste Schritt besteht darin, den Motor mit hoher Geschwindigkeit laufen zu lassen, bzw. mit einem vorher festgelegten Geschwindigkeitsverlauf, um so den Läufer 58 annähernd in die zuvor bestimmte Position zu bringen. Danach arbeitet die Einrichtung nach dem Prinzip der Positionsverfolgung. Während des ersten Schrittes erscheinen an beiden Ausgängen L und K Geschwindigkeitssignale, wobei die Steuergeschwindigkeit am Ausgang K und die gemessene Geschwindigkeit am Ausgang L erscheinen. Während des zweiten Schrittes erscheint die Steuerposition am Ausgang K und die gemessene Position am Ausgang L. Der Schalter 250 dient zum Übergang vom Schritt 1 zu Schritt 2. Der Schalter 252 dient dazu, den Zweischritt-Arbeitsgang durch die Geschwindigkeitsverfolgung zu ersetzen. In letzterer erscheint eine gemessene Geschwindigkeit am Ausgang L, während eine Steuergeschwindigkeit am Ausgang K erscheint.

In dem Zweischritt-Arbeitsgang wird der Geschwindigkeitsverlauf vom Festspeicher 258 gegeben, der seinerseits auf die aufeinanderfolgenden Signale des Zählwerks 262 reagiert, welches die Taktimpulssignale vom Taktgeber 260 zählt und von einem Taktgebersignal am Ausgang T gesteuert wird. Der bereits zuvor erwähnte Taktgeber, hier mit 264 bezeichnet, gibt auf den Ausgang T ein Taktsignal zum Steuern des Taktgebers 260 und die Zeittakt- und Taktimpulssignale für die anderen Einheiten der Maschine, wie in Fig. 1 dargestellt. Entsprechend dem Fortschreiten des Zählwerks 262 produziert der Festspeicher 258 eine Reihe von Ausgangsinformationen, die die Rota-

tionsgeschwindigkeit des Läufers zu bestimmten Zeiten festlegen. Ein einfaches Beispiel für einen solchen Geschwindigkeitsverlauf ist in der grafischen Darstellung 266 in Fig. 9 gezeigt.

Das Zählwerk 262 gibt nur eine Teilinformation an den Festspeicher 258, während der restliche Teil vom Register 256 stammt, der die Differenz zwischen der gewünschten Endposition und der gegenwärtigen Position des Läufers 58 speichert. Die Teilinformation des Registers 256 bewirkt eine Änderung des Geschwindigkeitsverlaufes von Festspeicher 258 für relativ kurze Läuferrotationsphasen, bei denen es unpraktisch wäre, den Motor auf maximale Geschwindigkeit zu bringen. Entsprechend wählt die Teilinformation des Registers 256 einen Satz geeigneter Geschwindigkeitsverläufe für relativ geringe Positionsdifferenzen aus.

Die Steuereinrichtung 126 enthält weiterhin einen Komparator 268, ein Bezugselement 270 (welches eine Quelle für ein Positionsfehlergrenze bezeichnendes Digital-Wort aufweist), einen Positions-Codierer 272 (zum Bestimmen einer gewünschten Endposition des Läufers) und einen Geschwindigkeits-Codierer 274 (zum Bestimmen der gewünschten Rotorgeschwindigkeit). Anstelle der Codierer 272 und 274 können selbstverständlich auch Digital-Worte einer externen Quelle, wie beispielsweise eines Trägheitsnavigators in einem Flugzeug, verwendet werden, um von diesem die gewünschte Geschwindigkeit und Position des Läufers bestimmen zu lassen. Die Codierer 272 und 274 takten den Taktgeber ein, so dass dieser mit dem Synchronisieren der verschiedenen Arbeitsvorgänge der Vorrichtung beginnen kann.

Der Summierer 254 erzeugt ein Positionsfehlersignal, indem er das gemessene Positionssignal am Ausgang G von dem vom Codierer 272 erzeugten gewünschten Positionssignal abzieht. Das daraus resultierende Differenz-Signal wird sowohl auf das Register 256 gegeben als auch mit dem Komparator 268 verbunden, der die Positionsdifferenz mit einem der Positionsfehlergrenze entsprechenden Referenzsignal vergleicht. Ist die Positionsdifferenz geringer als der Referenzwert, d.h. liegt der Positionsfehler innerhalb der Fehlergrenze, betätigt der Komparator 268 den Schalter 250, und die gemessene Position am Ausgang G wird auf den Ausgang L gegeben, während die vorher bestimmte Endposition des Läufers 58 mit dem Ausgang K verbunden wird, wodurch der Übergang vom ersten zum zweiten Schritt im Zweischritt-Arbeitsgang zum Einstellen des Läufers 58 auf eine vorbestimmte Position vollzogen wird.

Der Schalter 252 kann durch den Geschwindigkeits-Codierer 274 in Aktion gesetzt werden, so dass nur die vom Codierer 274 gesteuerte Geschwindigkeit am Ausgang K erscheint. So kann mit Hilfe der Steuereinrichtung 126 entweder eine Geschwindigkeits-Verfolgung oder, in der Zweischritt-Arbeitsweise, eine Geschwindigkeits- und anschliessende Positionssteuerung erzielt werden. Die Zweischrittfolge wird durch ein vom Codierer 272 am Ausgang R erzeugtes Signal eingeleitet, welches seinerseits die Schalter 140 der Steuereinrichtung 108 (Fig. 7) betätigt. Der Positions-Codierer 272 bewirkt, dass die an den Ausgängen A2 und B2 der Positionsmesseinheit 122 (Fig. 8) erscheinenden Referenz- und Hall-Wähl-Signale an den Ausgängen A1 und B1 der Steuereinrichtung 108 erscheinen und die Komparatoren 106 in Betrieb setzen, wie zuvor beschrieben.

In Fig. 10 weist die Geschwindigkeitsmeseinrichtung 124 zwei Kanäle auf, von denen der obere für hohe Geschwindigkeiten, und der untere für niedrige Geschwindigkeiten benutzt wird. Die Umdrehungsrichtung wird durch ein «OR»-Tor 276 und einen J-K Flipflop 278, die mit den beiden Sektoränderungssignalen am Ausgang F verbunden sind, bestimmt. Das auf der Verbindung 280 erscheinende Umdrehungsrichtungssignal und das Umdrehungsgeschwindigkeitssignal auf der Verbindung 282 ergeben eine vollständige Definition der Läufergeschwindigkeit. Das «OR»-Tor 276 gibt auf der Verbindung 284 entweder das am Ausgang F erzeugte Änderungssignal im Uhr-

zeigersinn oder jenes entgegengesetzt dem Uhrzeigersinn, wobei das Signal auf der Verbindung 284 einen Sektorwechsel unabhängig von der Drehrichtung anzeigt. Auf der Verbindung 280 bewirkt der J-K Flipflop 278 eine logische 1 oder eine logische 0, je nachdem, welche Sektorwechselverbindung am Ausgang F den logischen Zustand 1 aufweist. Folglich gibt der logische Zustand des Signals auf der Verbindung 280 die Drehrichtung des Läufers an.

Der obere Kanal in Fig. 10 weist ein Tor 286, einen Taktgeber 288, einen Inverter 290, ein Zählwerk 292, ein Register 294, eine Quelle 296 für ein Referenzsignal, einen Komparator 298 und einen Geschwindigkeits-Anzeiger 300 auf. Der untere Kanal enthält einen Flipflop 302, einen Taktgeber 304, ein Tor 306, einen Inverter 308, ein Zählwerk 310, ein Register 312, einen Festspeicher 314 und einen Geschwindigkeitsanzeiger 316. Der obere und untere Kanal sind über einen Schalter 318 mit einem Schieberegister 320 verbunden, dessen Ausgang über einen Subtraktor 322 mit einem Geschwindigkeitsanzeiger 324 verbunden ist.

Zum Messen hoher Umdrehungsgeschwindigkeiten zählt das Zählwerk 292 die Sektorwechselsignale auf der Verbindung 284, wobei eine Folge von Sektorwechselsignalen vom Tor 286 auf das Zählwerk 292 als Reaktion auf ein Taktgebersignal vom Taktgeber 288 gegeben werden. Der Taktgeber 288 wird durch das Taktgebersignal am Ausgang T des Taktgebers 264 in Betrieb gesetzt (Fig. 9). Die Zahl der vom Zählwerk 292 über einen bestimmten Zeitraum gezählten Sektoränderungssignale ist proportional der Umdrehungsgeschwindigkeit und deshalb — abgesehen vom Umrechnungsfaktor — gleich der Rotationsgeschwindigkeit. Das Register 294 fragt den Taktgeber 288 über den Inverter 290 nach der im Zählwerk 292 bei Beendigung des Zählzeitraumes gespeicherten Zahl ab. Diese im Register 294 gespeicherte Zahl wird auf den Geschwindigkeitsanzeiger 300 gegeben und stellt einen Faktor für die Bestimmung der Geschwindigkeit dar.

Zum Messen niedriger Umdrehungsgeschwindigkeiten zählt das Zählwerk 310 die Impulse des Taktgebers 304 während des Zeitraumes zwischen zwei aufeinander folgenden Sektorwechselsignalen auf der Verbindung 284. Die Taktgeberimpulse des Taktgebers 304 werden über das Tor 306 dem Zählwerk 310 zugeleitet. Das Tor 306 wird in Betrieb gesetzt durch den Flipflop 302, der seinerseits auf die aufeinander folgenden Sektorwechselsignale auf der Verbindung 284 reagiert. Am Ende eines Zählintervalles wird der nachgezogene Impuls des Flipflop 302 über den Inverter 308 benutzt, um das Register 312 zu betätigen, der das vom Zählwerk 310 erhaltene Ergebnis speichert, um dieses dem Festspeicher 314 zuzuleiten. Die im Register 312 festgehaltene Zahl ist proportional dem Intervall zwischen den aufeinander folgenden Sektorwechselsignalen. Da die Umdrehungsgeschwindigkeit umgekehrt proportional dem Intervall zwischen zwei aufeinander folgenden Sektorwechselsignalen ist, gibt der Festspeicher 314 Daten, die numerisch gleich dem reziproken Wert des auf ihn gegebenen Signals sind. Das Ausgangssignal des Festspeichers 314 wird auf den Anzeiger 316 gegeben, der die Geschwindigkeit anzeigt. Zur Anzeige der Beschleunigung werden aufeinander folgende Geschwindigkeitswerte im Schieberegister 320 gespeichert und dann auf den Subtraktor 322 gegeben, der die Differenz zwischen zwei Geschwindigkeitsmessungen ermittelt. Das Differenzsignal des Subtraktors 322 wird dann auf den Anzeiger 324 gegeben, der die Beschleunigung anzeigt.

Um eine Geschwindigkeitsanzeige auf der Verbindung 282 und eine Beschleunigungsanzeige sowohl für hohe als auch für niedrige Geschwindigkeiten zu erzielen, wählt der Schalter 318 entweder das Ausgangssignal des Registers 294 oder dasjenige des Festspeichers 314. Der Schalter 318 wird vom Komparator 298 aktiviert, der das Geschwindigkeitssignal am Ausgang des Registers 294 mit einem Referenzsignal der Quelle 296 ver-

gleicht. Ist das Ausgangssignal des Registers 294 grösser als das Referenzsignal der Quelle 296, so schaltet der Komparator 298 den Schalter 318 in die Hoch-Geschwindigkeits-Position und verbindet den Ausgang des Registers 294 mit der Verbindung 282. Fällt das Ausgangssignal des Registers 294 unter das Referenzsignal, so schaltet der Komparator 298 den Schalter 318 in die Position für niedrige Geschwindigkeiten und verbindet den Ausgang des Festspeichers 314 mit der Verbindung 282.

In Fig. 11 enthält der Strommodulator 120 einen Festspeicher 350, einen Digital/Analog-Umsetzer 352 und 354, einen Verstärker 356, Komparatoren 358 und 360 und einen Flipflop 362. Der Festspeicher 350 erhält eine Adresse über die Verbindung 364, die die gewünschte Amplitude und die Richtung des Stromes in den Wicklungen 60 (Fig. 1) kennzeichnet. Die über die Adresse auf der Verbindung 364 geleitete Stromstärke weicht nicht wesentlich von der Durchschnitts-Stromstärke ab. Der tatsächlich von den Sensoren 64 (Fig. 1) gemessene und über den Ausgang J mit dem Modulator 120 verbundene Strom ist in der grafischen Darstellung 366 in Fig. 11 dargestellt.

Um die Wicklungen über die Schalter 62 der Brückenschaltung 56 (Fig. 1) mit Strom zu versorgen, gibt der Festspeicher 350 ein Signal auf die Verbindung 118, das die Stromrichtung entsprechend der Drehrichtung des Läufers kennzeichnet. Weiterhin gibt der Festspeicher 350 zwei Digitalworte als Reaktion auf die Adresse auf die Verbindung 364, von denen das eine die auf den Digital/Analog-Umsetzer 352 gegebene obere Stromgrenze, und das andere die auf den D/A-Umsetzer 352 gegebene untere Stromgrenze kennzeichnen. Die entsprechenden, von den Umsetzern 352 und 354 erzeugten Spannungen werden als Referenzsignale auf die Komparatoren 358 und 360 gegeben. Der am Ausgang J gemessene Strom wird durch den Verstärker 356 verstärkt und auf die Komparatoren 358 und 360 gegeben. Übersteigt die Amplitude des gemessenen Stromes eine obere Grenze, so erzeugt der Komparator 360 ein logisches 1-Signal, das den Flipflop 362 einstellt. Ist der gemessene Stromwert unterhalb der unteren Grenze, so erzeugt der Komparator 360 ein logisches 1-Signal, das den Flipflop 362 zurücksetzt. Das Ausgangssignal des Flipflop 362, das entweder ein logisches 1-Signal oder logisches 0-Signal ist, wird über den Ausgang I dem Festspeicher 116 (Fig. 1) zugeleitet. Eines dieser Signale veranlasst den Festspeicher 116, einen Strom fließen zu lassen, während das andere den Stromfluss unterbricht. Fließt z.B. ein Strom in positiver Richtung, so wird, wenn dieser die obere Grenze erreicht hat, der Stromfluss unterbrochen; beim Erreichen der unteren Grenze wird der Stromfluss freigegeben. Das Signal am Ausgang I ist in der Grafik 366 als gestrichelte Linie dargestellt. Im Hinblick auf den Induktions- und Filtereffekt der Wicklungen 60 gibt es keine scharfen Stromimpulse, sondern Wellenschwingungen mit ziemlich kleinen Amplituden aus exponentiell anwachsenden und abnehmenden Komponenten, wobei der Strom um einen Mittelwert schwankt.

Wie bereits oben festgestellt, können die an den Ausgängen K und L erzeugten Signale sowohl Geschwindigkeits- als auch Positionssignale sein, wobei das Signal am Ausgang K stets den gewünschten, und das Signal am Ausgang L stets den gemessenen Wert angibt. Das Strom-Steuersignal auf der Verbindung 364 entsteht aus der Integration der Signaldifferenzen an den Ausgängen K und L. Das die Differenz zwischen den beiden Signalen der Ausgänge K und L kennzeichnende Digitalwort ist im vorliegenden Fall ein einfaches Wort. Es ist selbstverständlich, dass auch andere Wörter oder Wortkombinationen gewählt werden können.

Das die Differenz zwischen den Signalen der Ausgänge K und L kennzeichnende Digitalwort wird von einem Komparator 368 erzeugt. Der Integrationsvorgang beginnt mit einem Summierer 370, einem Register 372, und einer Quelle 374 für ein Digitalwort mit einem Einheitswert. Der Ausgang des Registers 372 ist mit dem einen Eingang des Summierers 370 verbunden,

und der Ausgang der Quelle 374 mit dem anderen Eingang des Summierers 370. Das Ausgangssignal des Komparators 368 gibt dem Summierer 370 den Befehl, das Signal der Quelle 374 zum Wert im Register 372 zu addieren oder von diesem zu subtrahieren. Bei sukzessivem Abfragen des Registers 372 steigt bzw. fällt dessen Wert entsprechend den Signaleinheiten des Komparators 368. Das Abfragen des Registers 372 erfolgt über zwei Sektorwechselsignale am Ausgang F, die über ein «OR»-Tor 376 mit dem Register 372 verbunden sind und das Abfragen jeweils am Beginn eines Sektors unabhängig von der Drehrichtung ermöglichen.

Der Modulator 120 enthält weiterhin Referenz-Signal-Quellen 378 und 380, Komparatoren 382 und 384, ein «OR»-Tor 386, eine Quelle 388 für ein Digitalwort mit einem Einheitswert, einen Summierer 390, ein Register 392 und eine Quelle 394, die ein Codierer sein kann und die das Digitalwort erzeugt, welches das Register 392 auf einen bestimmten Wert setzt.

Das Ausgangssignal des Registers 372 wird mit einem oberen Referenzsignal der Quelle 378 und mit einem unteren Referenzsignal der Quelle 380 durch die Komparatoren 382 und 384 verglichen. Ist das Ausgangssignal des Registers 372 grösser als das obere Referenzsignal oder geringer als das untere Referenzsignal, dann gibt einer der Komparatoren 382 oder 384 über das «OR»-Tor 386 ein logisches 1-Signal zum Abfragen des Festspeichers 392. Der logische Pegel des Komparators 384 dient ebenfalls als Signal zum Steuern des Summierers 390, genau, wie es schon für den Summierer 370 beschrieben wurde. Bei jedem Abfragen des Registers 392 wird dessen Wert um eine Einheit der Quelle 388 vermehrt oder vermindert, entsprechend der logischen Pegel-Information des Komparators 384. Auf diese Weise wird das Register 392 bei kleinen Schwankungen des Registers 372 nicht abgefragt. Schwanken jedoch die Werte des Registers 372 verhältnismässig stark, wird das Register 392 sukzessiv abgefragt mit einer nachfolgenden Verminderung bzw. Vermehrung des gespeicherten Wertes. Der Wert des Registers 392 erscheint auf der Verbindung 364 als Adresse an den Festspeicher 350. In dieser Weise erzeugt der Strommodulator 120 einen Filtervorgang über eine Integration des Schleifenfehlersignals (die Differenz zwischen den Signalen an den Ausgängen K und L), wodurch ein geschlossener Rückkopplungskreis erzielt wird. Übersteigt im Betrieb die gewünschte Position (oder Geschwindigkeit) die gemessene Position (oder Geschwindigkeit) über einen sich über mehrere Sektoren erstreckenden Zeitraum hinaus, werden die Referenzsignale für die Komparatoren 358 und 360 vom Festspeicher 350 angehoben, um den Stromdurchschnittswert in den Wicklungen 60 anzuheben. Ähnlich wird verfahren, wenn der Wert des Signals am Ausgang K unter den des Signals am Ausgang L fällt; dann verringert der Festspeicher 350 den Wert des Referenzsignals an die Komparatoren 358 und 360 und damit den Mittelwert des Stromes in den Wicklungen 60.

In Fig. 12 wird eine andere Ausgestaltungsform eines Strommodulators 400 dargestellt, der anstelle des Strommodulators 120 verwendet wird, wenn weder Positions- noch Geschwindigkeits-Verfolgung erforderlich sind. Der Modulator 400 kann beispielsweise dann verwendet werden, wenn es darauf ankommt, von einer Stromquelle begrenzter Stärke, wie z.B. Solarzellen, eine maximale Motorleistung zu erzielen. Bei einigen Anwendungsgebieten, wie beispielsweise bei Wasserpumpen, ist es nicht erforderlich, die Geschwindigkeit des Antriebsmotors (nicht dargestellt) konstant auf einem vorbestimmten Wert zu halten, da das Wasser mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten gepumpt werden kann. Das Produkt aus Motor-Drehmoment und Motor-Geschwindigkeit ist jedoch bestimmend für die Motorleistung und die Menge Wasser, die gepumpt werden kann. Entsprechend variiert der Modulator 400 sowohl die scheinbare Impedanz, die der Motor der Stromquelle gegenüber aufweist, als auch die Rotationsgeschwindigkeit, um eine maximale Kraftübertragung zu gewährleisten.

Der Modulator 400 enthält einen Frequenzteiler 402 (zur Unterteilung der Frequenz der Taktgeberimpulse), ein Zählwerk 404 (zum Zählen der Taktgeberimpulse), einen Komparator 406, einen Flipflop 408, ein Zählwerk 410, eine Quelle für Digital-Worte 412, ein Schieberegister 414, und einen Komparator 416. Der Flipflop 408 wird vom Zählwerk 404 und Komparator 406 forwährend gesetzt und zurückgesetzt, um eine Impulsfolge am Ausgang I zu erzeugen, in der jeder Impuls auf dem logischen Pegel 1 ist und die Zwischenräume zwischen den Impulsen auf dem logischen Pegel 0. Die jeweilige Impulsdauer am Ausgang I entspricht der Dauer eines Stromimpulses entsprechend der Steuerung durch den Festspeicher 116 (Fig. 1). Eine Schwankung der Zeitdauer der Impulse am Ausgang I führt zu einer entsprechenden Schwankung der Stromimpulse der Brückenschaltung 56 (Fig. 1). Ist der Betriebsstrom niedrig, fliesst im Durchschnitt relativ wenig Strom von der Quelle 54. Wird der Betriebsstrom höher, ist auch der Stromfluss grösser. So kann das Verhältnis der Spannung von Stromquelle 54 zum mittleren Stromwert, der von diesem geliefert wird, durch eine Veränderung der Impedanz des Motors geändert werden. Eine entsprechende Veränderung erfährt auch die auf den Motor gegebene elektrische Leistung, die das Produkt aus der Spannung an der Stromquelle 54 multipliziert mit der Durchschnittstromstärke darstellt.

Um zu prüfen, ob der Motor wirklich die maximal zur Verfügung stehende Leistung erhält, überwacht der Modulator 400 die am Ausgang L gemessene Geschwindigkeit. Die Signale an den Ausgängen K, F, und J werden vom Modulator 400 nicht benutzt. Der Modulator 400 bewirkt eine leichte Veränderung des Signals am Ausgang I, die im Vergleich zur Reaktionszeit des Motors 52 und seiner Last langsam ist. Eine Veränderung im Betriebsstromkreis kann entweder eine Zunahme oder eine Abnahme der Rotationsgeschwindigkeit zur Folge haben. Angenommen, die Last, wie die beispielsweise zuvor erwähnte Wasserpumpe, erzeugt ein verhältnismässig gleichmässiges Läuferdrehmoment bei einer nützlichen Motorgeschwindigkeit, so kann diese zum Messen der Ausgangsleistung des Motors verwendet werden. Entsprechend kann durch Überwachen der Motorgeschwindigkeit bei einer geringen Schwankung des Versorgungskreises der Modulator 400 den Versorgungskreis für eine maximale Leistungsübertragung einstellen.

Die Ausgangssignale des Zählwerks 410 und der Quelle 412 bilden ein Digital-Wort mit einem Wert, den der Komparator 406 mit demjenigen des Zählwerks 404 vergleicht. Das Zählwerk 404 zählt den Modul N2 und setzt sich selbst zurück, wobei es gleichzeitig einen Impuls auf den Flipflop 408 gibt. Erreicht die Zahl den vom Zählwerk 410 und der Quelle 412 gelieferten Wert, setzt der Komparator 406 den Flipflop 408 zurück. Bleiben die Zahl des Zählwerks 410 und das Digitalwort der Quelle 412 konstant, dann ist jeder Impuls der Wellenform am Ausgang I von konstanter Zeitdauer.

Eine langsame Schwankung der Impulsdauer am Ausgang I wird vom Frequenzteiler 402 und vom Zählwerk 410 erzeugt. Angenommen, der Wert des Frequenzteilers 402 sei gleich dem 8fachen des Wertes von N2, wird bei jedem 8ten Ausgangssignal des Zählwerks 404 vom Frequenzteiler 402 ein Taktimpuls auf das Zählwerk 410 gegeben, welches langsam vorwärts zählt. Die wichtigsten Teile des Digital-Wortes des Zählwerks 410 und der Quelle 412 haben einen konstanten Wert und stammen von der Quelle 412. Die weniger wichtigen Teile stammen vom Zählwerk 410. So entsteht eine langsame Schwankung und ein relativ unbedeutender Wechsel des vom Zählwerk 410 und von der Quelle 412 gelieferten Wertes.

Das Schieberegister 414 speichert die gemessenen aufeinanderfolgenden Geschwindigkeitswerte am Ausgang L. Der Speicher 414 speichert bei jedem Taktgeberimpuls vom Frequenzteiler einen Geschwindigkeitswert. Zwei aufeinander folgende Werte der gemessenen Geschwindigkeit werden dem Schieberegister

gister 414 entnommen und im Komparator 416 verglichen. Das Komparator-Ausgangssignal ist mit der Auf/Ab-Steuerung des Zählwerks 410 über eine Schaltung, die einen Flipflop 420, ein «AND»-Tor 422 und einen Festspeicher 424 enthält, verbunden. Der Festspeicher 424 erzeugt als Reaktion auf eine Veränderung der Läufergeschwindigkeit und als Reaktion auf die Zählrichtung des Zählwerks 410 einen Steuerimpuls auf das Zählwerk 410 zur Umkehrung der Zählrichtung.

Die Zusammenarbeit des Festspeichers 424 mit den anderen Bauteilen des Stromkreises wird nachstehend beschrieben. Verbindungen 426 und 428 versorgen den Festspeicher 424, wobei die Verbindung 426 eine Teiladresse zum Anzeigen der Zählrichtung des Zählwerks 410 signalisiert. Die Verbindung 428 liefert den restlichen Teil der Adresse, der angibt, ob die Läufergeschwindigkeit ansteigt oder abfällt. Steigt die Geschwindigkeit an, so ist ein später genommener Geschwindigkeitswert V_2 grösser als der früher genommene Wert V_1 . Fällt die Geschwindigkeit ab, so ist ein früher genommener Wert V_1 kleiner als ein später genommener Wert V_2 . Der Komparator 416 vergleicht die beiden Geschwindigkeitswerte miteinander und erzeugt auf der Verbindung 428 ein logisches 1-Signal bei steigender Geschwindigkeit und ein logisches 0-Signal bei fallender Geschwindigkeit. Eine logische 1 auf der Verbindung 428 zeigt an, dass das Zählwerk 410 vorwärts zählt, während eine logische 0 anzeigt, dass rückwärts gezählt wird. Auf diese Weise beschreibt die Adresse an den Festspeicher 424 sowohl das Zählen als auch die Geschwindigkeitsänderung.

Der Festspeicher 424 sorgt dafür, dass das «AND»-Tor 422 einen Taktgeberimpuls des Frequenzteilers 402 zum Abfragen auf den Flipflop 420 gibt, was diesen veranlasst, die Umkehr der Zählrichtung des Zählwerks 410 zu bewirken. Sinkt die Läufergeschwindigkeit, während das Zählwerk 410 vorwärts zählt, so steuert der Festspeicher 424 das Abfragen des Flipflop 420 zur Umkehr der Zählrichtung, so dass das Zählwerk 410 rückwärts zählt. Sinkt die Läufergeschwindigkeit bei rückwärts zählendem Zählwerk 410, zwingt der Festspeicher 424 über den Flipflop 420 das Zählwerk 410, vorwärts zu zählen. Steigt die Läufergeschwindigkeit, hält der Festspeicher 424 der Flipflop 420 in seinem derzeitigen Zustand, indem ein logisches 0-Signal auf das «AND»-Tor 422 gegeben wird. Der Zählwert im Zählwerk 410 wird konstant oder zumindest annähernd konstant auf einem Wert gehalten, der eine Impulsfolge am Ausgang I zur Folge hat und für die maximale Kraftübertragung von der Stromquelle 54 auf den Motor 52 (Fig. 1) sorgt.

In Fig. 13 ist ein weiterer Strom-Modulator 450 dargestellt, der zusammen mit dem Strommodulator 120 und der Brückenschaltung 56 aus Fig. 1 in leicht abgewandelter Form verwendet werden kann, falls die maximale Leistung des Motors erzielt werden soll. Bevor mit der Beschreibung der Fig. 13 begonnen wird, muss festgestellt werden, dass die Motorwicklungen entweder in Sternschaltung oder in «Y»-Schaltung (Fig. 1) miteinander verbunden sind. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Wicklungen nicht miteinander zu verbinden, sondern jede Wicklung einzeln über ein Anschlusspaar mit Strom zu versorgen. Ein Beispiel für die letztgenannte Ausführungsform ist der Zweiphasen-Motor, dessen Wicklungen so mit Strom versorgt werden, dass sie immer um 90° phasenverschoben sind, wodurch ein rotierendes magnetisches Feld erzeugt wird.

Bei Motoren mit unabhängig voneinander mit Strom versorgten Wicklungen wurde festgestellt, dass die grösste Ausbeute bei der Umwandlung von elektrischer in mechanische Energie dann erzielt wird, wenn der Stromfluss in den Wicklungen auf die Zeitabschnitte begrenzt wird, in welchen das Verhältnis von Drehmoment zu Strom ein Maximum erreicht oder nahe dem Maximum ist. Dieses Verhältnis von Motordrehmoment zu Motorstrom ist abhängig von der jeweiligen Position der Läuferpole relativ zu den Statorwicklungen. Dieses Verhältnis ändert sich sinusförmig mit der Läuferumdrehung, ebenso wie die

Hall-Sensoren-Ausgangsspannung. Deshalb können die Ausgangsspannungen der Hall-Sensoren zum Bestimmen des maximalen Verhältnisses von Drehmoment zu Motorstrom benutzt und so die Stromversorgung der Wicklungen entsprechend gesteuert werden, um hierdurch eine maximale Energieausbeute zu erzielen.

Zur Darstellung der Verbindung des Strommodulators 450 mit einem Motor wurden die drei Wicklungen 60 aus Fig. 1 beibehalten, werden aber unabhängig voneinander über je ein Anschlussleiterpaar mit einer Brückenschaltung verbunden, wie in Fig. 13 für den abgewandelten Motor 52A dargestellt. Die Brückenschaltung 56 aus Fig. 1 wird Brückenschaltung 56A in Fig. 13 und zusätzliche Leiter mit den Schaltern 62 werden vorgesehen. Für jede Wicklung 60 wird ein Satz von vier Schaltern 62 benutzt. Die Stromquelle 54 ist mit jedem der Schalter 62, wie in Fig. 1, verbunden. Der Festspeicher 116 aus Fig. 1 wird Festspeicher 116A in Fig. 13 und wird mit zusätzlichen Speicher- und Ausgangsleitungen versehen, um die zusätzlichen Schalter in der Brückenschaltung zu steuern.

Im Strommodulator 120 der Fig. 11 steuert ein einziger Ausgang I den Strom zur Brückenschaltung 56 (Fig. 1), da nur ein Strom durch die Wicklungen des Motors 52 fliesst. Da bei dem Motor 52A gemäss Fig. 13 verschiedene Ströme gleichzeitig fließen können, wird der Strommodulator 120 aus Fig. 11 zu einem geänderten Strommodulator 120A (Fig. 13) und weist zusätzliche Steuerausgangsleitungen auf. In Fig. 13 ist nur ein Teil des Modulators 120A gezeigt, da der andere Teil mit dem Modulator 120 aus Fig. 11 identisch ist. So sind statt des einen Flipflop 362 aus Fig. 11 im Modulator in Fig. 13 drei Flipflops 362 vorgesehen. Die Anzahl der Digital-Analog-Umwandler und der Komparatoren und Verstärker wurde in gleicher Weise erhöht, so dass jeweils drei Komparator-Sätze 358 und 360, drei Umwandler 352 und 354 und drei Verstärker 356 vorhanden sind. Der Schalter 128 aus Fig. 1 fällt in Fig. 13 ebenfalls fort, da hier die Signale aller drei Stromsensoren 64 gleichzeitig in Aktion treten, um die drei Komparatorsätze 358 und 360 zum Vergleichen der Amplituden der verschiedenen Wicklungsströme mit den von den drei Stromrichtern 352 und 354 erzeugten unteren und oberen Grenzwerten in Betrieb zu setzen. Der Festspeicher 350 aus Fig. 11 ist nun Speicher 350A und wird zusätzlich mit Speicher- und Ausgangsleitungen für die zusätzlichen Stromrichter 352 und 354 versehen. Das Stromsteuersignal, das auf der Verbindung 364 des Festspeicher 350A (Fig. 13) anspricht, ist das gleiche wie das auf der Verbindung 364 für den Festspeicher 350 (Fig. 11).

Der zusätzliche Strommodulator-Schaltkreis 450 in Fig. 13 ist mit den Ausgängen des Strommodulators 120A und den Eingängen der Brückenschaltung 56A verbunden. Vergleicht man die Schaltkreise der Fig. 1 und 11, in denen das Ausgangssignal am Ausgang I des einzigen Flipflop 362 direkt mit dem Festspeicher 116 verbunden ist, werden in Fig. 13 die Ausgänge der Flipflops 362 im Modulator 120A mit «AND»-Toren 452 im Modulator 450 und über die entsprechenden Ausgänge I1, I2 und I3 mit dem Festspeicher 116A verbunden. Die anderen Zuleitungen zum Festspeicher 116A sind für die Drehmoment- und Sektorsignale, wie in Fig. 1 beschrieben, bestimmt. So ist die Leiterzuganordnung der Fig. 1 praktisch identisch mit jener aus Fig. 13 mit dem Unterschied, dass statt einer einzigen Stromsteuerleitung in Fig. 1 in der Fig. 13 drei Leiterzüge vorgesehen sind und jede Leitung über ein «AND»-Tor 452 im zusätzlichen Modulator 450 verbunden ist. Wie nachfolgend beschrieben, verhindern die «AND»-Tore den Durchgang der Stromsteuersignale von den Flipflops 362 in den Zeiträumen, in denen das Verhältnis von Drehmoment zu Motorstrom zu niedrig ist, um eine maximale Motorleistung des Motors 52A zu erzielen.

Der Modulationsstromkreis 450 enthält weiterhin Detektoren 455, 456 und 457, Zählwerke 459, 460, 461, Flipflops 463, 464 und 465, je einen Satz von drei Komparatoren 467 und 468,

einen Festspeicher 470, ein Register 472, ein Zählwerk 474 und einen Flipflop 476. Die Detektoren 455-457 entschlüsseln das Sektorsignal am Ausgang E (Fig. 1) und bestimmen den ersten, dritten und fünften Sektor entsprechend 0, 120 und 240 elektrischen Graden.

Als Reaktion auf ein entsprechendes Signal am Ausgang E setzen die Detektoren 455-457 die entsprechenden Zählwerke 459-461 in Betrieb zum Zählen der Taktgeberimpulse, wobei die Zahl eines jeden Zählwerks der Zeit, die während eines Sektors verstreicht, entspricht. Die Zählwerte der Zählwerke 459-461 werden auf die Komparatoren 467 und 468 gegeben und mit Paaren digitaler Wörter des Festspeichers 470 verglichen, wobei die Wörter Anfang und Ende der Zeiträume bestimmen, in welchen bei grosser Ausbeute in den von den jeweiligen Hall-Spannungen festgelegten Sektoren Strom auf die Motorwicklungen gegeben werden kann. Die Komparatoren 467-468 sind mit den Ausgängen der Flipflops 463-465 verbunden, die Ausgangsimpulse erzeugen, welche die Zeiträume bestimmen, während deren die entsprechenden Motorwicklungen mit Strom beaufschlagt werden. Die Ausgangssignale der Flipflops 463-465 aktivieren die entsprechenden Ausgänge der «AND»-Tore 452, um die Steuersignale zum Festspeicher 116A passieren zu lassen.

Die grafische Darstellung 478 in Fig. 13 zeigt eine sinusförmige Schwankung des Verhältnisses von Drehmoment zu Motorstrom als Funktion der Zeit oder, entsprechend, als Funktion der Läuferumdrehung. Wie bereits bemerkt, sind sowohl die Hall-Spannungen als auch das Verhältnis von Drehmoment zu Motorstrom sinusförmigen Schwankungen unterworfen. Entsprechend bezieht sich jede Kurve in der grafischen Darstellung 478 auch auf die entsprechenden Hall-Spannungen. In der Grafik sind ebenfalls die die Stromversorgung der entsprechenden Motorwicklungen steuernden Digital-Signale an den Ausgängen I1-I3 dargestellt und tragen die Bezeichnungen I1-I3. Die Kurven zeigen, dass die Signale nach dem Null-Durchgang der entsprechenden Sinusschwingung beginnen und vor dem nächsten Null-Durchgang beendet sind. Die vom Festspeicher 470 auf die Komparatoren 467-468 gegebenen Start- und Stop-Signale entsprechen dem Anfang und dem Ende der Stromsteuersignale I1-I3, wie im Diagramm 478 dargestellt.

Die Start- und Stop-Zeiten für die Stromsteuersignale hängen von den Umdrehungsgeschwindigkeiten des Läufers ab. Entspricht z.B. die Dauer eines Stromsteuersignales 20° der Sinusschwingung des Drehmoment zu Strom-Verhältnisses, so muss die tatsächliche Zeitdauer des Signals bei niedrigen Geschwindigkeiten grösser sein als 20° und bei hohen Geschwindigkeiten kleiner als 20° . Entsprechend speichert der Festspeicher 470 Digital-Wörter, die die Anfangs- und Endzeiten für die verschiedenen Geschwindigkeiten bezeichnen.

Ein vom Register 472 erzeugtes Signal bewirkt im Festspeicher 470 die Auswahl des Start- und Stop-Wortes entsprechend den unterschiedlichen Rotationsgeschwindigkeiten. Das Ansprache-Signal des Registers 472 wird mit Hilfe des Flipflop 476 und des Zählwerks 454 erzeugt, welche die Zeitdauer eines Sektors messen.

Der Flipflop 476 wird durch eines der Sektorswechselsignale aktiviert, die dem Flipflop 476 vom Ausgang F über ein «OR»-Tor 480 zugeführt werden. Das Zählwerk 474 wird vom Flipflop 476 in Betrieb gesetzt und zählt die Taktgeberimpulse; beim nächsten Sektorwechsel durch den Flipflop 476 wird der Zählvorgang beendet. Hört das Zählwerk auf zu zählen, fragt der Flipflop 467 das Register 472 ab, um den entsprechenden Zählwert vom Zählwerk 474 zu erhalten. Das Ausgangssignal des Registers 472 wird dem Festspeicher 470 zugeführt und bezeichnet deshalb die Dauer eines Sektordurchlaufs, der proportional dem reziproken Wert der Läufergeschwindigkeit ist. Auf diese Weise wählt der Festspeicher 470 die geeigneten Start- und Stop-Signale entsprechend der Umdrehungsgeschwindigkeit des Läufers aus.

In Fig. 14 ist der Motor 52 mit den drei Phasenwicklungen, die mit der Brückenschaltung verbunden sind, dargestellt, sowie die Leistungstransistoren und der Basistreiber. Jedes Ende der Motorwicklung enthält einen Strom-Abtastwiderstand 100, der eine Spannung proportional dem Wicklungsstrom entwickelt. Diese dem Wicklungsstrom proportionalen Spannungen werden in den nicht geerdeten Stromsensoren 102 verstärkt, und eine Spannung wird von der Schaltungseinrichtung 128 ausgewählt. Der Motor weist Positionssensoren auf mit drei Hall-Generatoren 72 und Proportionalverstärkern 78. Die Ausgangssignale dieser Verstärker sind in Fig. 5 dargestellt. Das multiplexe Stromsignal der Schaltungseinrichtung 128 wird vom Verstärker 356 verstärkt und wird, zusammen mit den Positionssignalen der Verstärker 78, mit den analogen Spannungspegeln der Digital/Analog-Konverter 142 und 352 in den Komparatoren 358 und 106 verglichen. Das Ergebnis dieser Vergleiche sind fünf Digital-Signale, die mit dem Mikrocomputer 500 verbunden werden, der beispielsweise der Typ R 6500/1, hergestellt von der Firma Rockwell Int., sein kann. Diese Signale geben dem Mikrocomputer den Zustand des Motors an.

Die Ausgangssignale des Mikrocomputers steuern die Brückenschaltung 56 und die Digital/Analog-Konverter 142 und 352. Der Ausgang C des Mikrocomputers ist mit einer asynchronen Kommutationsvorrichtung 502 verbunden. Über diese Vorrichtung kann der Mikrocomputer Steuersignale von aussen empfangen und Zustandssignale an die Steuerquelle senden. Es ist selbstverständlich, dass diese Einrichtung nicht arbeitet, wenn kein Programm gespeichert ist. Ebenso selbstverständlich ist, dass die verschiedenen Arbeitsweisen der Einrichtung nur durch die Fähigkeit des Mikrocomputers, den Motorzustand zu erkennen und die Wicklungen mit Strom zu versorgen, als Reaktion auf von aussen kommende oder interne Signale, möglich ist. So ist die vorteilhafteste Ausgestaltungsform der Einrichtung in Fig. 14 dargestellt; mit dieser können alle oben beschriebenen Betriebsarten und noch viele andere, hier nicht beschriebene, durchgeführt werden. Um darzustellen, wie die in Fig. 14 offenbarte Vorrichtung in einer der möglichen Betriebsarten arbeitet, werden zunächst drei Unterfunktionen beschrieben, nämlich Kommutation, Impulsbreiten-Modulation und Geschwindigkeitsmessung. Schliesslich wird eine Arbeitsweise beschrieben, die alle drei Funktionen verbindet und gleichzeitig eine maximale Kraftübertragung gewährleistet.

In Fig. 5 bezeichnen die drei Hall-Spannungen H1, H2 und H3 sechs 60° Sektoren durch ihre Null-Durchgänge. Eine einzige Identifizierung für jeden Sektor wird in der Ausführungsform nach Fig. 14 geschaffen, und zwar an den Ausgangssignalen der Komparatoren 106, sobald der Digital/Analog-Konverter 142 seinen Signalausgang auf 0 gesetzt hat. Um den Motor zu kommutieren, setzt der Mikrocomputer einen Wert am Tor B gleich dem Null-Durchgang und überprüft den Status der Eingänge am Tor A. Die drei von den Komparatoren 106 stammenden Eingangssignale am Tor A stellen im Gray-Code einen der sechs Sektoren dar. Wird dieser Sektorenwert als Eingang für eine Tabelle von sechs Werten verwendet, so wird der genaue Zustand der Brücke 56 gewählt und erscheint am Tor D. Ändert sich der den Sektor angegebende Gray-Code, so wird ein anderer Wert aus der Tabelle entnommen und somit auch der Zustand der Brücke 56 geändert. Auf diese Weise wird der Motor als Funktion der relativen Läufer/Stator-Position, wie durch die Hall-Generatoren angegeben, kommutiert.

Die Steuerung des Wicklungsstromes kann durch Impulsbreiten-Modulation unter Verwendung des vom Schalter entwickelten 128 Multiplex-Stromes erfolgen. Der geeignete Stromsensor 102 wird mittels der Ausgangssignale des Tors A des Mikrocomputers ausgewählt, in gleicher Weise, wie weiter oben für die Brücke 56 beschrieben, beispielsweise mit Hilfe einer mit den Sektoren-Nummern versehenen Tabelle. So erscheint das analoge Stromsignal, das den tatsächlichen Wick-

lungsstrom anzeigt, nach Durchgang durch die Brücke als Ausgangssignal am Verstärker 356. Dieses Signal wird mit dem analogen Pegel des Digital/Analog-Konverters 352 in den Komparatoren 358 verglichen. Diese Komparatoren betätigen die Unterbrecher des Mikrocomputers; der eine Unterbrecher spricht auf den «Aus»-Zustand an und schaltet ein, während der andere auf den «EIN»-Zustand anspricht und abschaltet. Die gewünschte obere Stromgrenze wird vom Mikrocomputer ausgewählt und an den Digital/Analog-Konverter 352 über das Tor B geleitet. Gleichzeitig wird die Brücke 56 durch das Tor D mit Strom versorgt und der Motorstrom nimmt zu. Zeigt das Signal des Komparators 358 an, dass die obere Stromgrenze erreicht ist, wird der Strom in der Brücke durch den Mikrocomputer abgeschaltet, und es wird der Wert im D/A-Konverter 352 durch den gewünschten unteren Stromwert ersetzt. Der Strom im Motor nimmt nun ab, bis das Signal der Komparatoren 358 angibt, dass die untere Grenze erreicht ist. Wiederum ersetzt der Mikrocomputer den Wert im D/A-Konverter 352 durch den gewünschten oberen Stromwert und versorgt die Brücke 56 wieder mit Strom. Auf diese Weise wird ein mittlerer Wert für den Motorstrom festgelegt. Diese Wert kann vom Mikrocomputer

jederzeit aufgrund eines vom innerhalb der Einrichtung bzw. eines von aussen kommenden Signals geändert werden, und zwar durch Ändern der oberen und unteren Stromgrenzwerte.

Die Signale der Hall-Generatoren 72 können ebenfalls zum Messen der Rotationsgeschwindigkeit des Motors benutzt werden. Zum Beispiel kann die Häufigkeit der Hallspannung bei Null-Durchgang über einen vorbestimmten Zeitraum gezählt werden. Andererseits können auch die Taktgeberimpulse zwischen den einzelnen Null-Durchgängen der Hall-Spannungen gezählt werden. Die erste Methode eignet sich sehr gut für hohe Geschwindigkeiten, während die zweite Methode für niedrige Geschwindigkeiten besser geeignet ist. Beide Verfahren verwenden den Taktgeber des Mikrocomputers.

Für den Fachmann ist aus der vorangehenden Beschreibung zu entnehmen, dass eine grosse Zahl von Energiewandler-Vorgängen unter Zuhilfenahme einfacher Hardware, wie sie hier beschrieben ist, möglich ist, wenn diese in Verbindung mit einem Programmspeicher verwendet wird. Diese und andere Arbeitsweisen können mit Rechner- und Kommunikationsfunktionen kombiniert werden, die eine sehr vielseitige, elektromechanische Energiewandlung bei geringen Kosten erlauben.

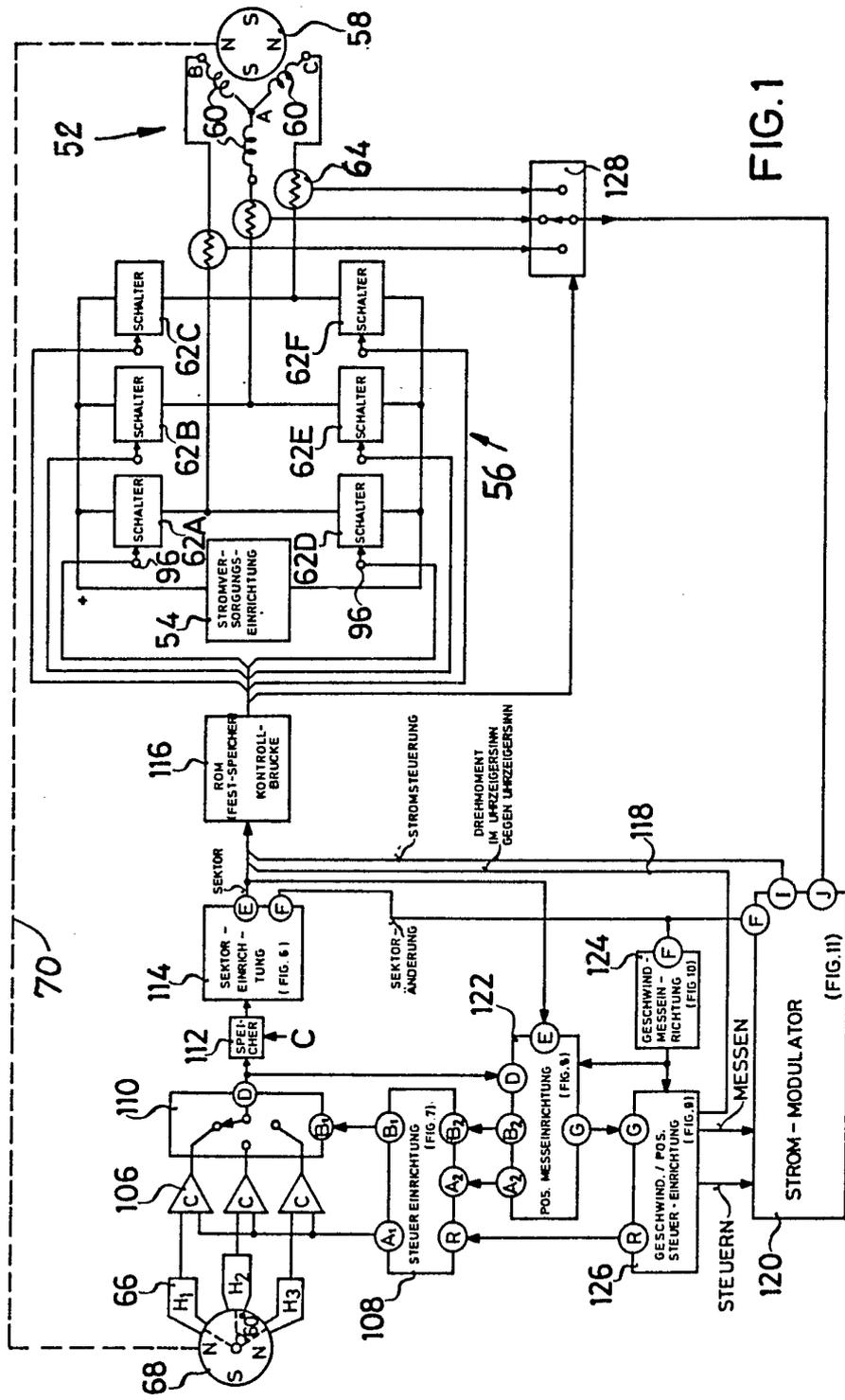


FIG. 1

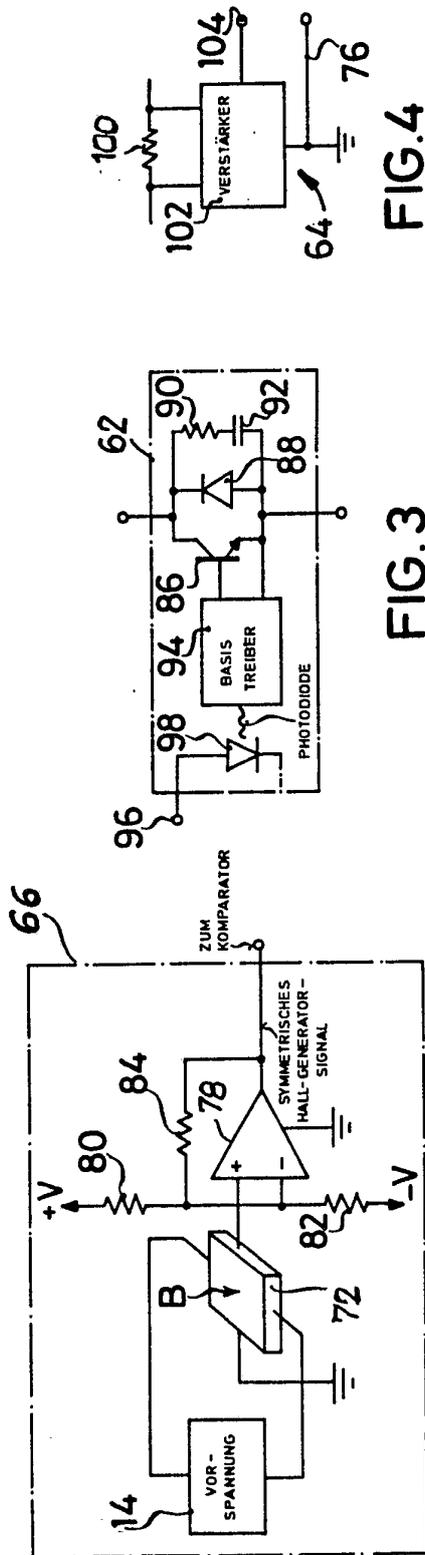


FIG. 2

FIG. 4

FIG. 3

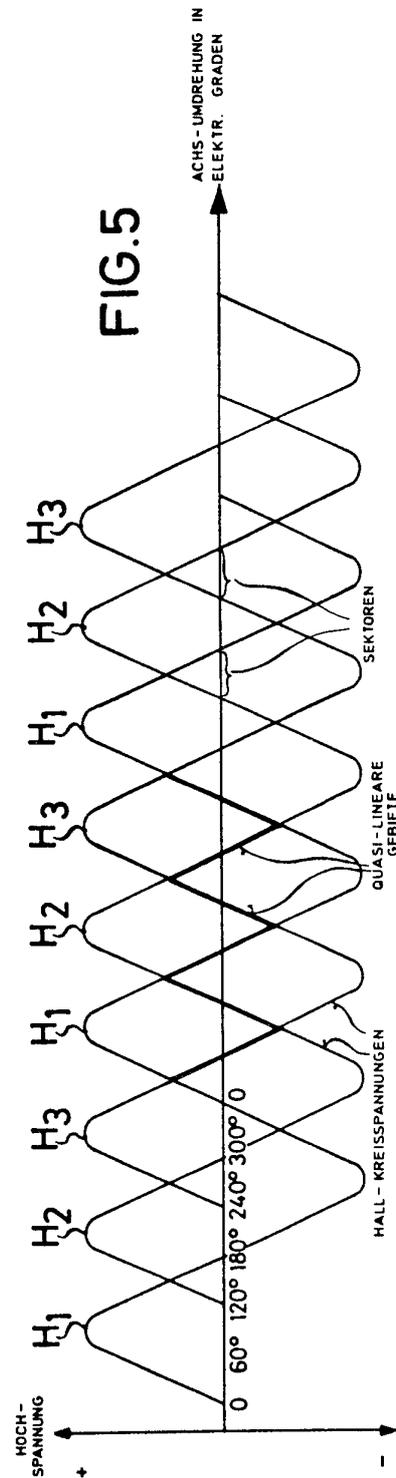


FIG. 5

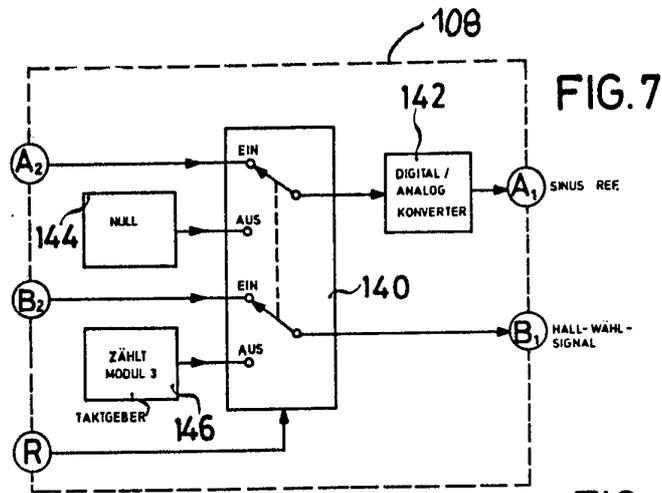


FIG. 7

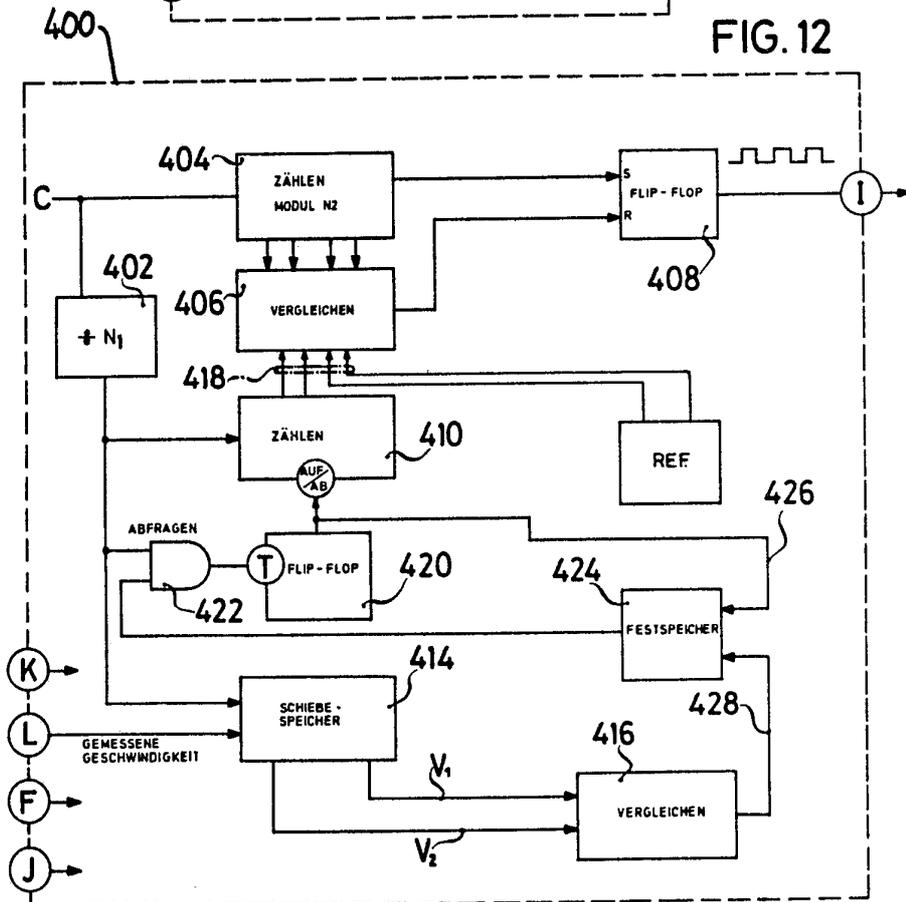
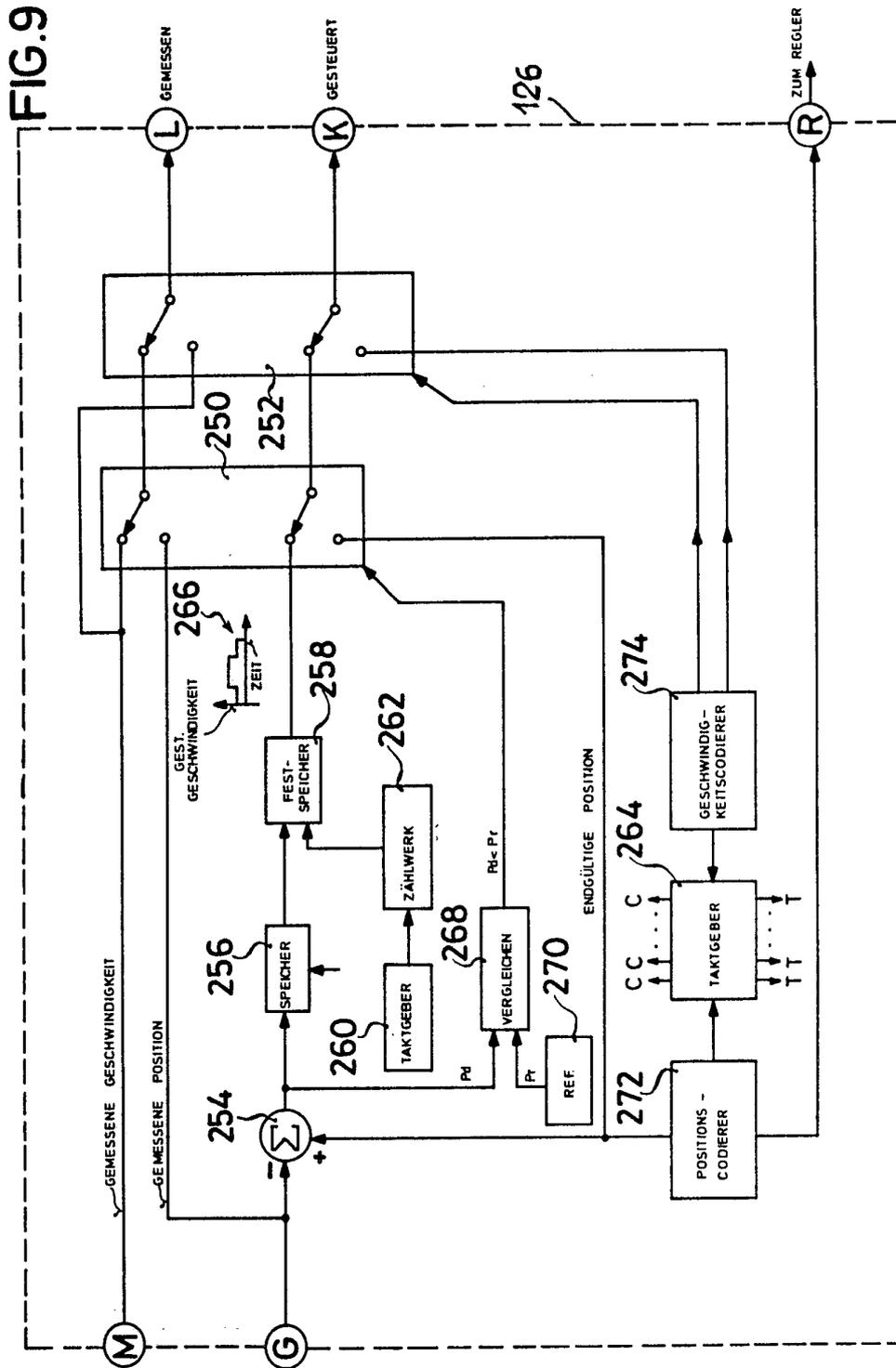
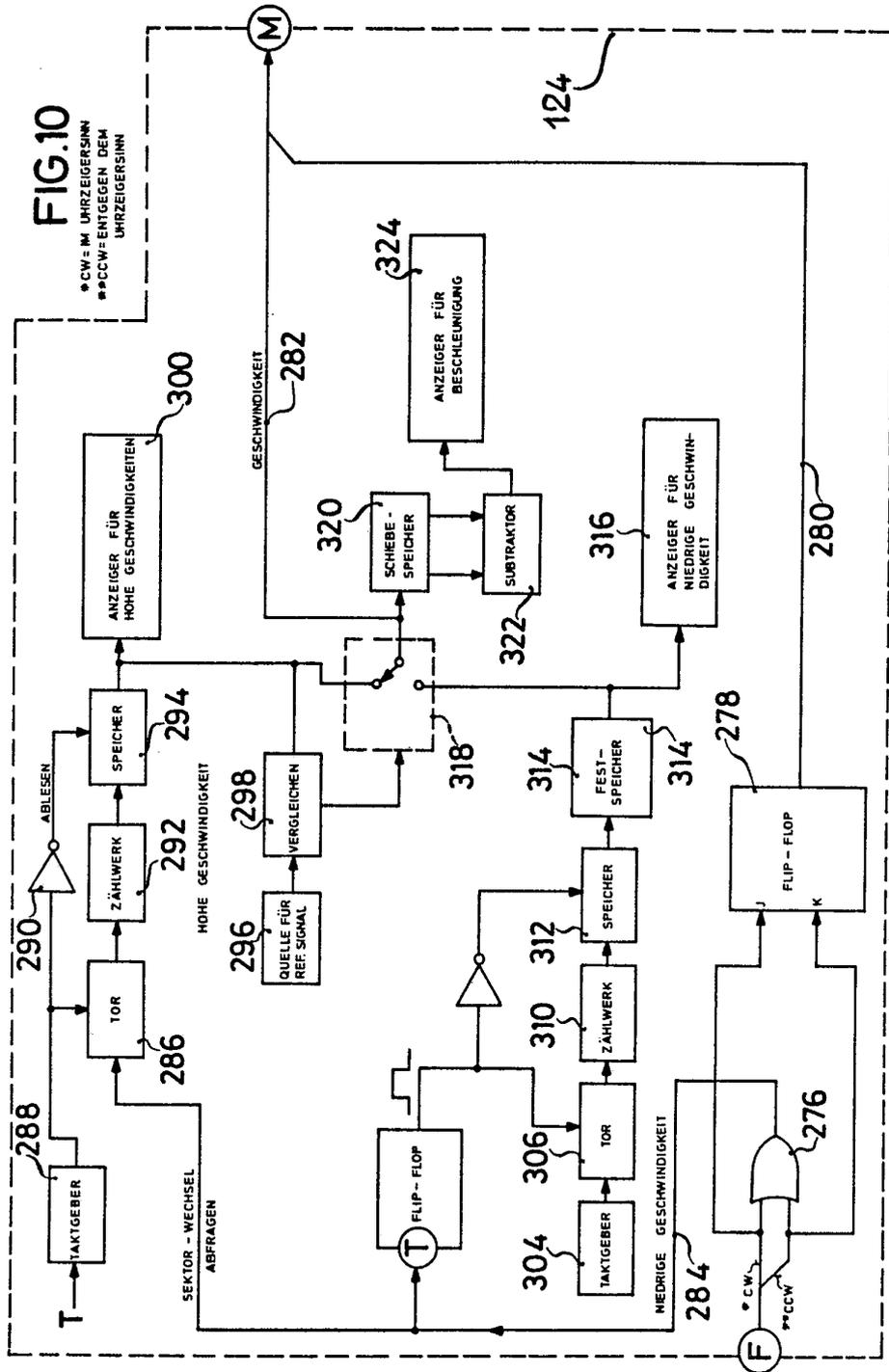
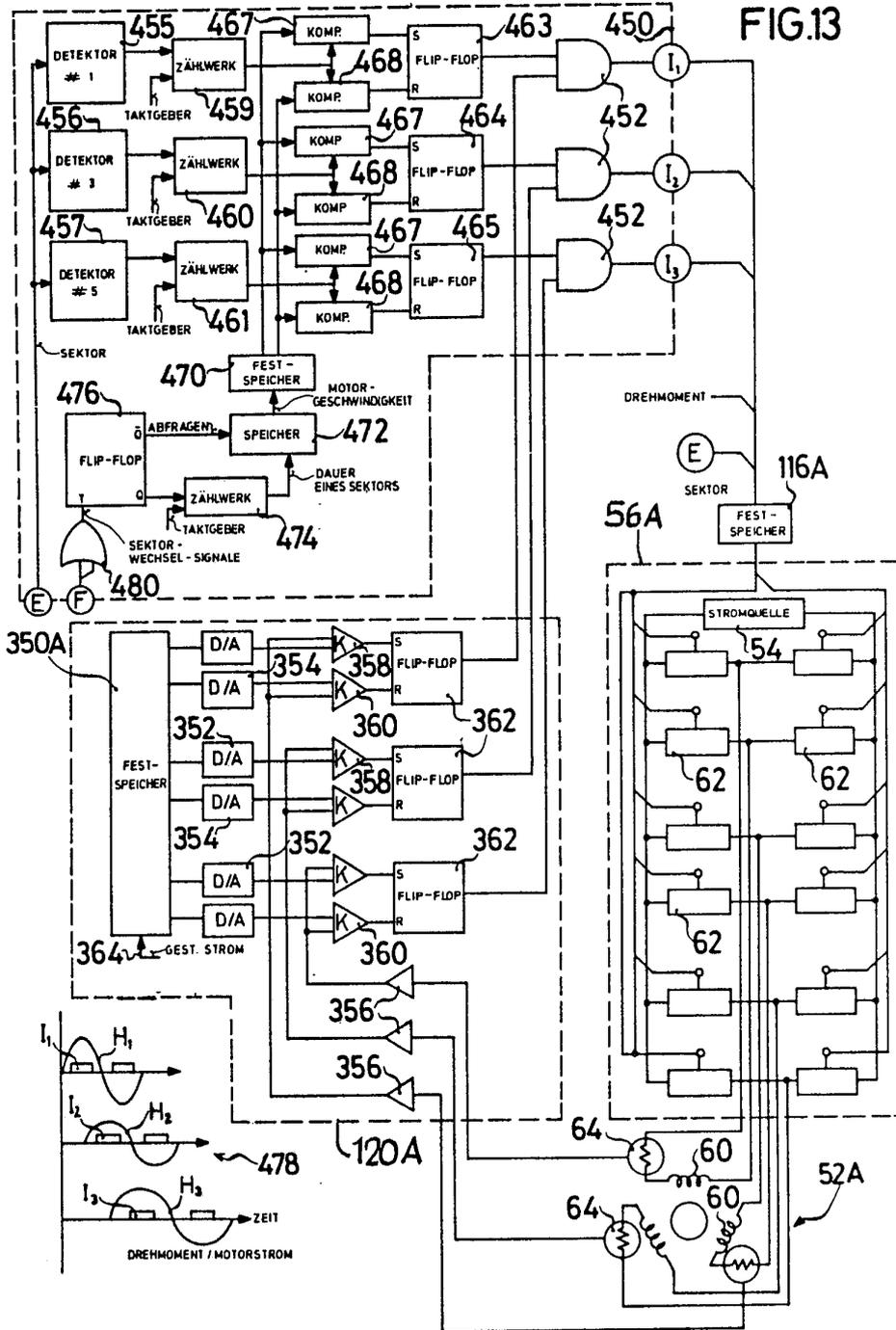


FIG. 12







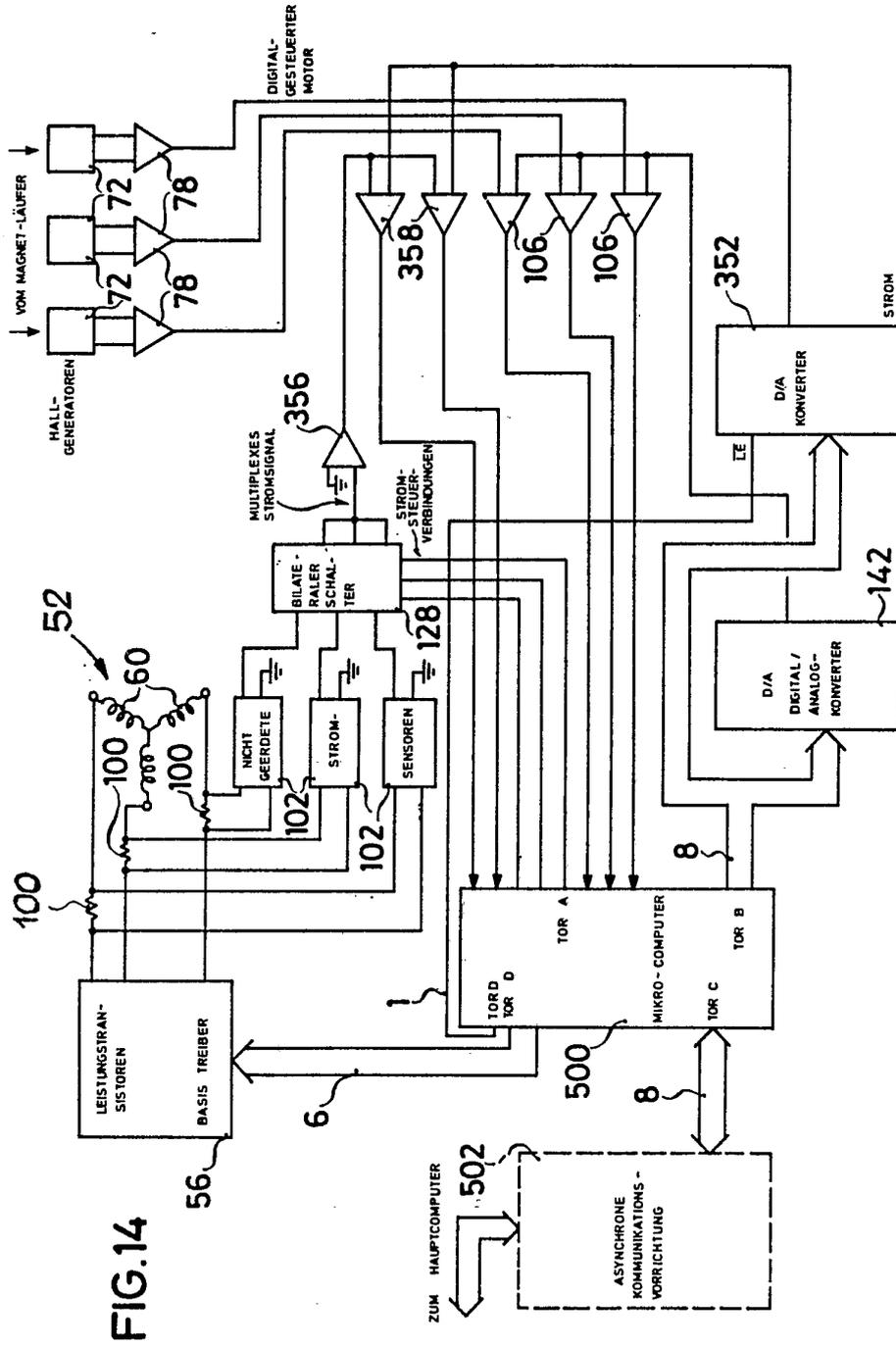


FIG.14