



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 17 231 T2** 2004.06.09

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 856 854 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 17 231.0**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 300 505.9**

(96) Europäischer Anmeldetag: **26.01.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **05.08.1998**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **20.08.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **09.06.2004**

(51) Int Cl.7: **H01F 7/16**

H01F 7/13, H01F 7/06, H02K 41/02

(30) Unionspriorität:

9702192 04.02.1997 GB

(73) Patentinhaber:

NCR International, Inc., Dayton, Ohio, US

(74) Vertreter:

v. Bezold & Sozien, 80799 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, ES, FR, GB, IT

(72) Erfinder:

**Rajanathan, Chinniah B., Dundee DD2 1PA,
Scotland, GB**

(54) Bezeichnung: **Elektromagnetische Betätigungsvorrichtungen**

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

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

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf elektromagnetische Aktuatoren, speziell auf lineare Aktuatoren, wie sie bei der Positionierung, der Ausübung von Kräften auf ein Werkstück und bei einer hin- und hergehenden Bewegung benutzt werden.

[0002] In unserer früheren europäischen Patentanmeldung EP 0748670 A ist eine Aktuatorvorrichtung beschrieben und dargestellt, welche zwei starr miteinander verbundene ähnliche Teile umfasst. Jedes Teil hat eine zylindrische Eisenstruktur mit einem äußeren hohlen Rohrabschnitt und einem inneren Abschnitt, und beide Abschnitte sind durch Endplatten so miteinander verbunden, dass zwischen ihnen ein Ringspalt gebildet wird, wobei jeder Teil im Längsschnitt eine E-Form hat. Die beiden Teile liegen einander gegenüber und definieren einen gemeinsamen ringförmigen Hohlraum zwischen ihren äußeren und inneren Teilen. In dem Hohlraum kann ein Kupferrohr seitlich gleiten. Zur Übertragung von Bewegungen des Kupferrohres außerhalb des Hohlraumes haben die äußeren Abschnitte längs verlaufende Schlitze, und am Kupferrohr sind durch die Schlitze nach außen ragende radiale Speichen angebracht. An ihrem Fuß sind die inneren Teile von elektrischen Spulen umgeben, und bei einer Wechselstromerregung der Spulen bewegt sich das Kupferrohr infolge des Zusammenwirkens der im Kupferrohr induzierten Wirbelströme mit dem magnetischen Feld in den Eisenstrukturen. Die Kraft/Verschiebungs-Charakteristik des Kupferrohres bei erregter Spule ist so, dass seine Position sich durch Differentialerregung der beiden Spulen verändern kann, so dass die Vorrichtung als Positionierungsvorrichtung wirkt.

[0003] Eine Aufgabe der Erfindung besteht in der Schaffung eines elektromagnetischen Aktuators verbesserter Konstruktion und vielseitigerer Anwendung.

[0004] Gemäß der Erfindung enthält ein elektromagnetischer Aktuator ein aus ferromagnetischem Material hergestelltes erstes Teil und ein aus elektrisch leitendem Material hergestelltes zweites Teil, wobei das feste Teil einen äußeren hohlen Rohrabschnitt und einen so angeordneten zentralen Kern bildet, dass zwischen dem äußeren Abschnitt und dem Kern ein Ringspalt entsteht. Der bewegliche Teil befindet sich im Ringspalt und kann in diesem linear gleiten, und um den zentralen Kern sind elektrische Spulen herumgewickelt. Die Anordnung ist dadurch gekennzeichnet, dass das feste Teil eine zentral in dem Spalt angeordnete Scheibe umfasst, welche den Spalt längs in zwei kürzere Spalten beiderseits von ihr aufteilt, und der zentrale Kern besteht aus zwei Teilen, von denen jeder an gegenüberliegenden Oberflächen der Scheibe befestigt ist. Um jeden Teil des Kerns ist eine elektrische Spule herumgewickelt, und der bewegliche Teil umfasst zwei getrennte ringförmige Elemente, die jeweils in einen der kürzeren Spalte gleiten können, und diese Elemente sind durch Be-

festigungsmittel starr miteinander verbunden, so dass sie gemeinsam gleiten.

[0005] Bei der Ausführung der Erfindung können die Befestigungsmittel eine durch beide Teile des Kerns hindurch verlaufende zentrale Bohrung aufweisen, in welcher eine Stange gleiten kann, und die ringförmigen Elemente des beweglichen Teils sind starr an gegenüberliegenden Enden der Stange befestigt. Vorzugsweise ist die Stange innerhalb der zentralen Bohrung mit Linearlagern montiert.

[0006] Die Teile der zentralen Bohrung haben vorzugsweise in Richtung von der zentralen Scheibe weg zunehmende Durchmesser, und diese Durchmesserzunahme erfolgt stufenweise.

[0007] Der Aktuator kann als Positionierungsvorrichtung dienen. Hierbei werden die beiden Spulen differentiell erregt, und die leitenden Rohre nehmen eine Position ein, welche vom Verhältnis der in den beiden Spulen fließenden Ströme abhängt. Der Aktuator kann auch zur Kraftausübung dienen, und in diesem Modus wird nur eine Spule erregt. Durch abwechselnde Erregung der beiden Spulen lässt sich eine hin- und hergehende Linearbewegung erreichen.

[0008] Zum besseren Verständnis der Erfindung sei nunmehr auf die beiliegenden Zeichnungen verwiesen. Es zeigen:

[0009] **Fig. 1** einen Längsschnitt durch einen erfindungsgemäßen Aktuator;

[0010] **Fig. 2** eine Kraft/Verschiebungs-Kurve für den Aktuator nach **Fig. 1**;

[0011] **Fig. 3** eine Kraft/Verschiebungs-Kurve, wenn der Aktuator für kontinuierliche Hin- und Herbewegung ausgelegt ist;

[0012] **Fig. 4** ein Blockdiagramm der elektrischen Schaltung für den Betrieb des Aktuators als Positionierungsvorrichtung; und

[0013] **Fig. 5** ein Diagramm zur Erläuterung des Betriebs der Schaltung nach **Fig. 4**.

[0014] Es sei zunächst **Fig. 1** betrachtet, welche einen Längsschnitt durch einen Aktuator zeigt, der einen aus Ferritmaterial bestehenden festen Teil und einen aus elektrisch leitfähigem Material bestehenden beweglichen Teil hat. Der feste Teil hat eine zentrale dicke zylindrische Scheibe **1**, an welcher ein äußeres dünnwandiges zylindrisches Rohr **2** befestigt ist. Das Rohr **2** verläuft beiderseits der Scheibe **1** über eine gewisse Distanz. Zwei zentrale Ferritkerne **3** und **4** sind beiderseits an die Scheibe **1** angebracht und ragen axial in entgegengesetzte Richtungen innerhalb des vom Rohr **2** definierten Volumens. Der Zwischenraum zwischen den Kernen **3** und **4** und der äußeren zylindrischen Wand **2** bildet Ringspalte **5** und **6**.

[0015] Die Kerne **3** und **4** sind beide abgestuft, so dass ihr Durchmesser mit der Entfernung von der Scheibe **1** zunimmt. Um die zentralen Kerne **3** und **4** herum sind elektrische Spulen **7** und **8** nahe der Scheibe **1** innerhalb der Ringspalte **5** und **6** angeordnet.

[0016] Der bewegliche Teil des Aktuators umfasst zwei dünnwandige Rohre **9** und **10** mit geschlossenen Enden **11** und **12**. Die Rohre **9** und **10** sitzen innerhalb der Spalte **5** und **6** und können in diesen in Längsrichtung gleiten. Sie können günstig aus Aluminium oder Kupfer bestehen. Die Rohre **9** und **10** sind aneinander befestigt, so dass sie gemeinsam gleiten. Zur Befestigung der Rohre aneinander ist eine zentrale Bohrung **13** vorgesehen, die durch beide Kerne **3** und **4** verläuft. Durch die Bohrung **13** verläuft eine Stange **14**, deren Enden starr mit den Endscheiben **11** und **12** der Rohre **9** und **10** verbunden sind. Um die Gleitbewegung der Stange **14** zu ermöglichen, können zwischen Stange **14** und der Innenfläche der Bohrung **13** Linearlager vorgesehen sein. Die Rohre **9** und **10** und die sie verbindende Stange **14** bilden ein Verbundteil **15**, das innerhalb Grenzen in den beiden entgegengesetzten Richtungen linear bewegt werden kann.

[0017] Der Betrieb des Aktuators nach **Fig. 1** hängt von der Art ab, in welcher die beiden Spulen **7** und **8** erregt werden. Eine Erregung der Spule **7** oder **8** mit Wechselstrom, üblicherweise aus dem 50 Hz-Netz, führt zur Erzeugung eines magnetischen Wechselfeldes in den Ferritelementen, welches seinerseits Wirbelströme in dem leitenden Teil **15** erzeugt. Die Wirbelströme reagieren mit dem magnetischen Feld unter Bildung einer Kraft, welche nach außen auf das leitende Teil **15** wirkt. Wird nur einer Spule Wechselstrom zugeführt, dann gilt die in **Fig. 2** gezeigte Beziehung zwischen Kraft und Verschiebung. Man sieht, dass bei dem gestuften Kern beim Herausgleiten des Teils **15** aus einer zentralen Position die Kraft über einen kleinen Bereich leicht zunimmt und dann mit weiterer Verschiebung praktisch linear abnimmt. Zum Vergleich ist in demselben Maßstab auch eine Kraft/Verschiebungs-Kurve für einen nicht gestuften Kern gezeichnet. Man sieht, dass über praktisch den gesamten Bewegungsbereich des Teils **15** die auf ihn wirkende Kraft bei einem abgestuften Kern erheblich größer ist.

[0018] Zur Betätigung des Aktuators als Linearmotor für Hin- und Herbewegung kann man die in **Fig. 1** gezeigte Schaltung benutzen. Die beiden Spulen **7** und **8** werden beide durch Triacs T_1 und T_2 von Anschlüssen **21** und **22** aus gespeist, welche an eine 50 Hz-Netzstromquelle angeschlossen sind. Das Zünden der Triacs T_1 und T_2 wird durch Sensoren D_1 und D_2 in Form von Photodioden derart gesteuert, dass die Spulen abwechselnd erregt werden. Zu irgendeinem Zeitpunkt ist der Zündwinkel des einen Triacs 0° , und derjenige des anderen Triacs 180° , d. h., dass ein Triac eingeschaltet und das andere ausgeschaltet ist. Zu diesem Zweck stellen die Photodioden D_1 und D_2 die beiden Enden der Wanderbewegung des Teils **15** fest und triggern die Triacs dementsprechend.

[0019] Die Bewegung des Gleitteils ist in **Fig. 3** gezeigt. An einer mit A markierten mittleren Position beträgt der Zündwinkel des Triacs T_2 0° , so dass die Spule **8** erregt wird bzw. eingeschaltet ist, während

der Zündwinkel des Triacs T_1 180° beträgt und demgemäß die Spule **7** nicht erregt oder "abgeschaltet" ist. Daher bewegt sich das Gleitteil nach rechts, bis es das Ende seines Weges bei B erreicht, was von der Photodiode D_2 festgestellt wird. An diesem Punkt ändert sich der Zündwinkel des Triacs T_2 in 180° , so dass die Spule **8** abgeschaltet wird. Gleichzeitig stellt die Photodiode D_1 auch das Ende des Weges des Gleitteils fest und ändert den Zündwinkel des Triacs T_1 in 0° , so dass die Spule **7** eingeschaltet wird. Das Gleitteil bewegt sich nun voll nach links, wie durch seine Bewegung von B nach C und danach nach D gezeigt ist. An diesem Punkt stellen die Photodioden das Ende der Linksbewegung fest und bewirken eine Umkehrung der Zündwinkel der jeweiligen Triacs und damit eine entsprechende Bewegungsumkehr des Gleitteils von D nach A und von dort wiederum nach B. Die Geschwindigkeit der Bewegungsumkehr des Gleitteils hängt von der mit ihm verbundenen Last ab.

[0020] Für einen Betrieb als Positionierungsvorrichtung werden die Dioden D_1 und D_2 durch einen einzigen kontinuierlichen Positionssensor ersetzt, und die Zündwinkel der Triacs T_1 und T_2 werden kontinuierlich variabel gemacht. Eine geeignete Schaltung hierfür ist in **Fig. 4** gezeigt. Der Aktuator nach **Fig. 1** ist in **Fig. 4** in Blockform als Aktuator **41** eingezeichnet. Er wird über die beiden Triacs T_1 und T_2 in gleicher Anordnung wie bei **Fig. 1** mit elektrischer Energie versorgt. Anstatt dass jedoch Photodioden nur das Wegende anzeigen, ist ein Positionssensor **42** vorgesehen, welcher die Position des Gleitteils kontinuierlich erfasst und ein zur Position proportionales Ausgangssignal liefert. Dieses Ausgangssignal wird durch einen Analog/Digital-Wandler **43** an einen digitalen Signalprozessor **44** weitergeleitet und von dort über einen Digital/Analog-Wandler **45** an eine Steuerschaltung **46** für das Gate des Triacs. Die Steuerschaltung **46** liefert Zündimpulse an die Triacs T_1 und T_2 .

[0021] Die Wirkung der verschiedenen Zündwinkel auf die Kraft/ Verschiebungs-Kennlinie des Aktuators ist in **Fig. 5** gezeigt. Wird ein kleiner Zündwinkel benutzt, dann gilt die durch die Kurve **51** gezeigte Kraft/Verschiebungs-Kennlinie, welche zeigt, dass die aufgewandte Kraft gut linear mit der Distanz abnimmt. Benutzt man einen großen Zündwinkel, dann gilt die Kurve **52**, welche zeigt, dass die anliegende Kraft gut linear mit dem Abstand wächst. Werden beide Triacs von der Steuerschaltung **46** gezündet, dann wirken entgegengesetzte Kräfte auf das Teil **15** ein, so dass dies in eine Gleichgewichtsposition bewegt wird, in welcher diese Kräfte gleich groß und entgegengesetzt gerichtet sind. Diese Position ist in **Fig. 5** mit **53** bezeichnet. Die tatsächliche Gleichgewichtsposition hängt von den Winkeln der von der Steuerschaltung **46** erzeugten Zündimpulse der Triacs bezüglich der Netzspannung ab.

[0022] Die in **Fig. 4** gezeigte Schaltung mit geschlossener Schleife erlaubt somit eine genaue Positionierung des Teils **15**, die über einen weiten Positi-

onsbereich erreichbar ist mit starken Rückkehrkräften gegen jegliche Bewegung aus der Gleichgewichtslageposition.

[0023] Es ist auch leicht möglich, den in **Fig. 1** gezeigten Aktuator als Kraftausübungsvorrichtung zu benutzen. Wenn nur eine Spule erregt wird, dann wird auf das Teil **15** in irgendeiner Position eine Kraft ausgeübt, wie es **Fig. 2** zeigt. Um umgekehrt eine Kraft irgendeiner vorgegebenen Größe auszuüben, lässt sich die erforderliche Position des Teils **15** aus **Fig. 2** ablesen. Der Aktuator wird anfänglich als Positionierungsvorrichtung in der oben beschriebenen Weise benutzt, um das Teil **15** in die gewünschte Position zu bringen. Die Position des Werkstücks gegenüber dem Teil **15** lässt sich in diesem Zustand so einstellen, dass diese Bewegung kompensiert wird. Dann wird die Stromversorgung beider Spulen abgeschaltet. Dies kann erfolgen, indem die Zündwinkel beider Triacs auf 180° geändert werden. Der Zündwinkel nur eines der beiden Triacs wird dann auf 0° geändert, und damit wird sichergestellt, dass es voll eingeschaltet ist und die mit ihm verbundene Spule maximalen Strom erhält, so dass die auf das Teil **15** und damit irgendein mit ihm verbundenes Werkstück ausgeübte Kraft den vorbestimmten Wert hat. Die Richtung der ausgeübten Kraft hängt davon ab, welche der beiden. Spulen **7** oder **8** erregt wird. Es ist dann möglich, je nach Wunsch entweder eine Zugkraft oder eine Druckkraft auf das mit dem Teil **15** verbundene Werkstück auszuüben.

[0024] In sämtlichen Funktionen des oben beschriebenen Aktuators werden keine elektrischen Schleifkontakte benötigt. Das Gleitteil **15** hat keine externen elektrischen Kontakte und ist robust wie eine Käfigwicklung eines üblichen Induktionsmotors. Der Aktuator kann somit in unwirtlicher Umgebung benutzt werden.

Patentansprüche

1. Elektromagnetischer Aktuator mit einem aus ferromagnetischem Material bestehenden festen Teil und einem aus elektrisch leitfähigem Material bestehenden beweglichen Teil, von denen der feste Teil einen äußeren hohlen Rohrabschnitt (**2**) und einen so angeordneten zentralen Kern hat, dass zwischen dem äußeren Abschnitt (**2**) und der Kern ein Ringspalt besteht, und von denen der bewegliche Teil sich in dem Spalt befindet und in diesem linear gleiten kann, und wobei um den zentralen Kern elektrische Spulen (**7** und **8**) gewickelt sind,
dadurch gekennzeichnet,
 – dass der feste Teil eine zentral im Spalt angeordnete Scheibe (**1**) enthält, welche den Spalt axial in zwei kürzere Spalte (**5** und **6**) beiderseits der Scheibe unterteilt,
 – dass der zentrale Kern in zwei Abschnitte (**3** und **4**) unterteilt ist, die jeweils an gegenüberliegenden Flächen der Spule (**11**) befestigt sind,
 – dass um jeden Kernabschnitt (**3,4**) eine elektrische

Spule (**7,8**) gewickelt ist, dass der bewegliche Teil zwei getrennte Ringelemente (**9** und **10**) aufweist, von denen jedes in einem entsprechenden der kürzeren Spalte (**5** oder **6**) gleiten kann, und dass Mittel vorgesehen sind, um diese Elemente (**9** und **10**) starr miteinander zu verbinden, so dass sie gemeinsam gleiten.

2. Aktuator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindungsmittel jeweils eine durch beide Kernabschnitte (**3** und **4**) hindurch verlaufende zentrale Bohrung (**13**) und eine in dieser Bohrung (**13**) gleitend bewegbare Stange (**14**) sowie Mittel zur starren Verbindung der ringförmigen Elemente (**9** und **10**) des beweglichen Teils mit gegenüberliegenden Enden der Stange (**18**) aufweisen.

3. Aktuator nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden leitfähigen Elemente (**9** und **10**) koppelnde Stange (**14**) in Linearlagern innerhalb der zentralen Bohrung (**13**) montiert ist.

4. Aktuator nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Durchmesser der Abschnitte (**3** und **4**) des zentralen Kerns sich in Richtung von der zentralen Scheibe weg vergrößert.

5. Aktuator nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Zunahme des Durchmessers der Abschnitte (**3** und **4**) des zentralen Kerns schrittweise erfolgt.

6. Linearmotor für Hin- und Herbewegung, gekennzeichnet durch einen elektromagnetischen Aktuator nach einem der vorstehenden Ansprüche und elektrische Zuleitungen (**21** und **22**) für die Spulen (**7** und **8**), individuelle Schalter (T_1 und T_2) für jede Spule und eine Einrichtung zur gleichzeitigen und entgegengesetzten Betätigung der Schalter zwischen "Ein"- und "Aus"-Positionen, wenn der bewegliche Teil (**15**) des Aktuators Endpositionen seiner Bewegung erreicht.

7. Motor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Schalter Triacs (T_1 und T_2) aufweisen und die Betätigungsmittel für die Schalter die Winkel der Zündimpulse der Triacs zwischen 0° und 180° umschalten, um die Triacs zwischen ihrem "Ein"- und "Aus"-Zuständen umzuschalten.

8. Positionierungsvorrichtung mit einem elektromagnetischen Aktuator nach einem der Ansprüche 1 bis 5 in Verbindung mit elektrischen Zuleitungen (**21** und **22**) für die Spulen (**7** und **8**), und mit einer Steuereinrichtung zur individuellen Steuerung der Größen der jeder Spule zugeführten elektrischen Ströme, um den beweglichen Teil (**15**) des Aktuators eine Position einnehmen zu lassen, die vom Verhältnis der Größen der Ströme in den Spulen (**7** und **8**) abhängt.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung Triacs (T_1 und T_2) im Weg von der elektrischen Stromversorgung (**21** und **22**) zu den Spulen (**7** und **8**) sowie eine Einrichtung zur Steuerung der Zündimpulswinkel für die Triacs enthält.

10. Vorrichtung nach Anspruch 8, gekennzeichnet durch einen Positionssensor (**42**) zur Bestimmung der Position des beweglichen Teils (**15**) des Aktuators in Verbindung mit einer geschlossenen Schleifenschaltung zur Änderung der Zündimpulswinkel der Triacs entsprechend dem Ausgangssignal des Positionssensors.

11. Vorrichtung zur Ausübung einer Kraft, gekennzeichnet durch einen elektromagnetischen Aktuator nach einem der Ansprüche 1 bis 5 zusammen mit einer Vorrichtung zur Bewegung des beweglichen Teils des Aktuators in eine vorbestimmte Position und einer Einrichtung zur Erregung einer ausgewählten der Spulen, wenn sich der bewegliche Teil in der oben genannten Position befindet.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

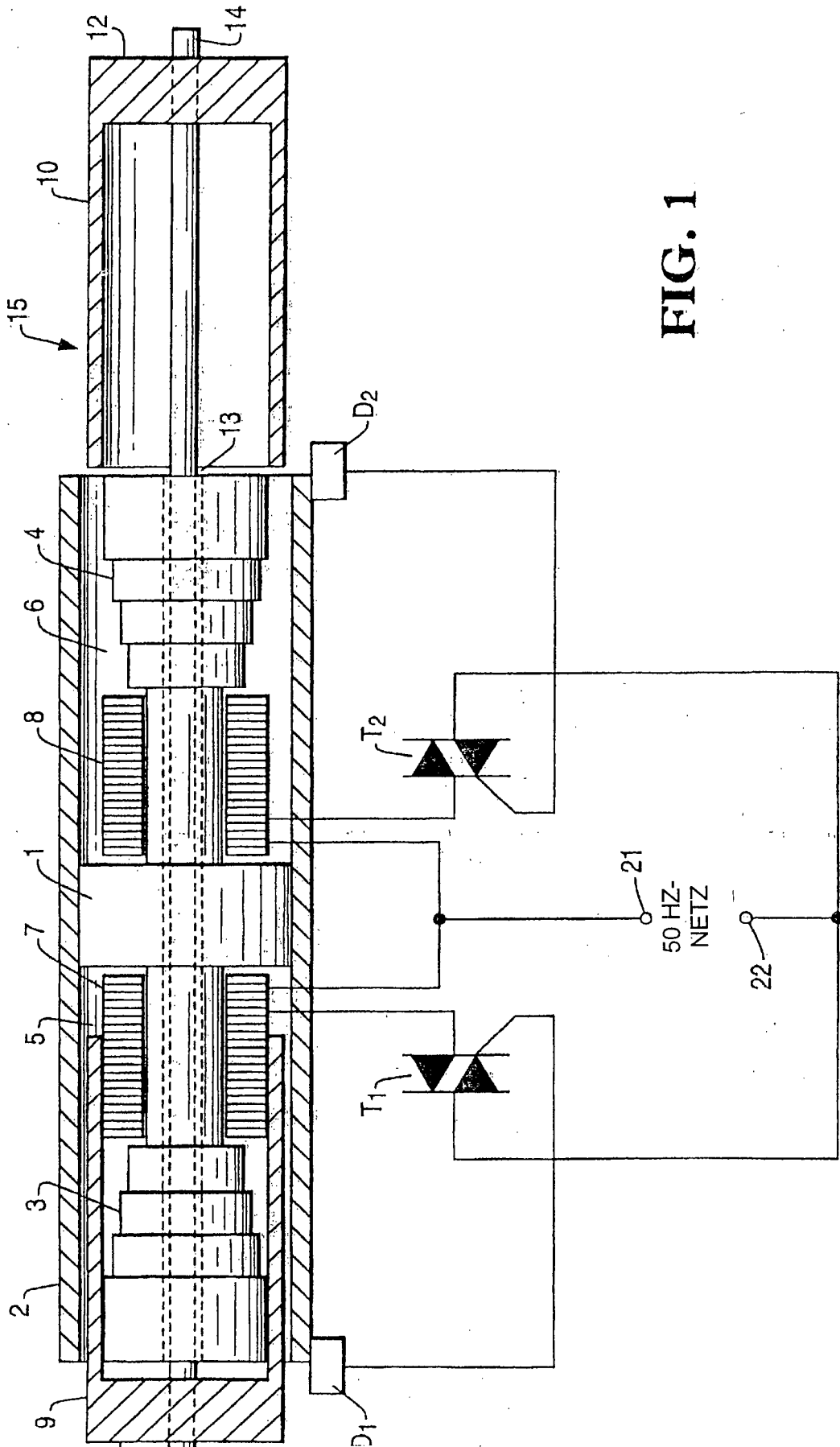


FIG. 1

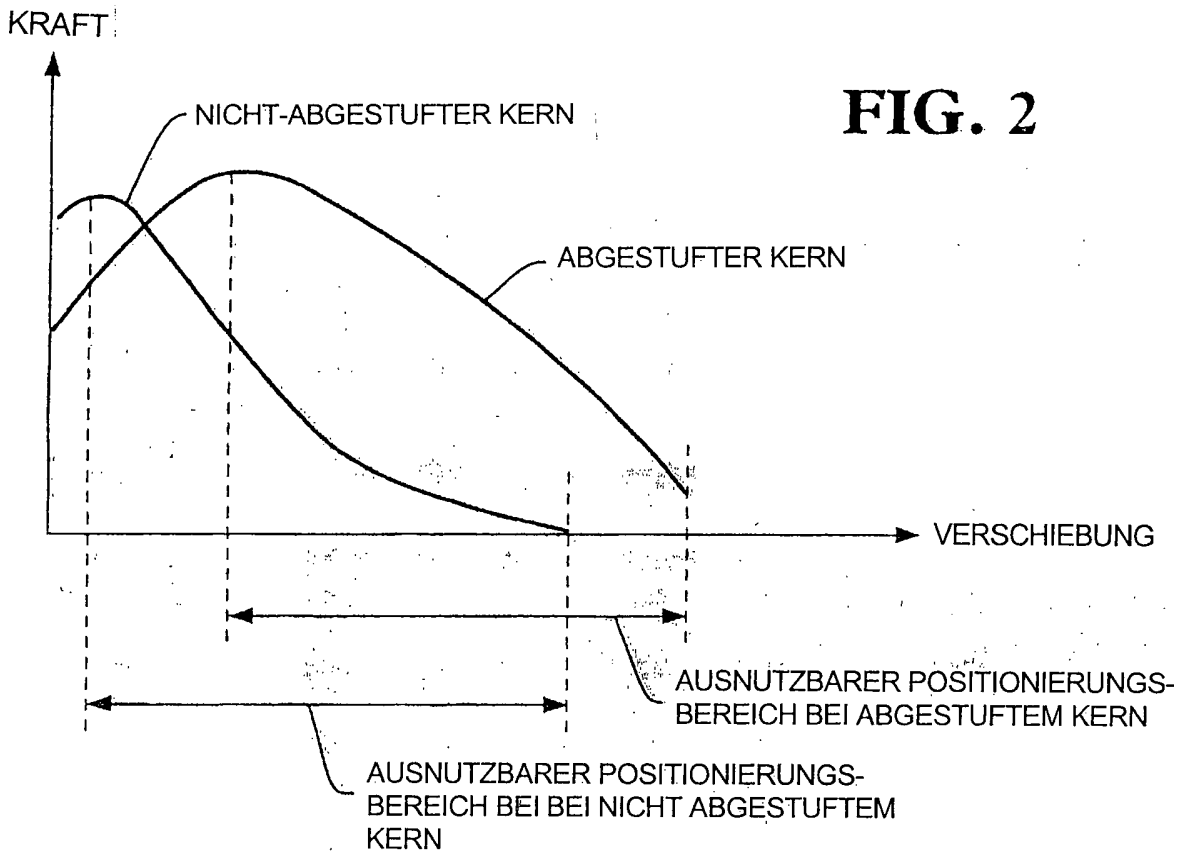


FIG. 3

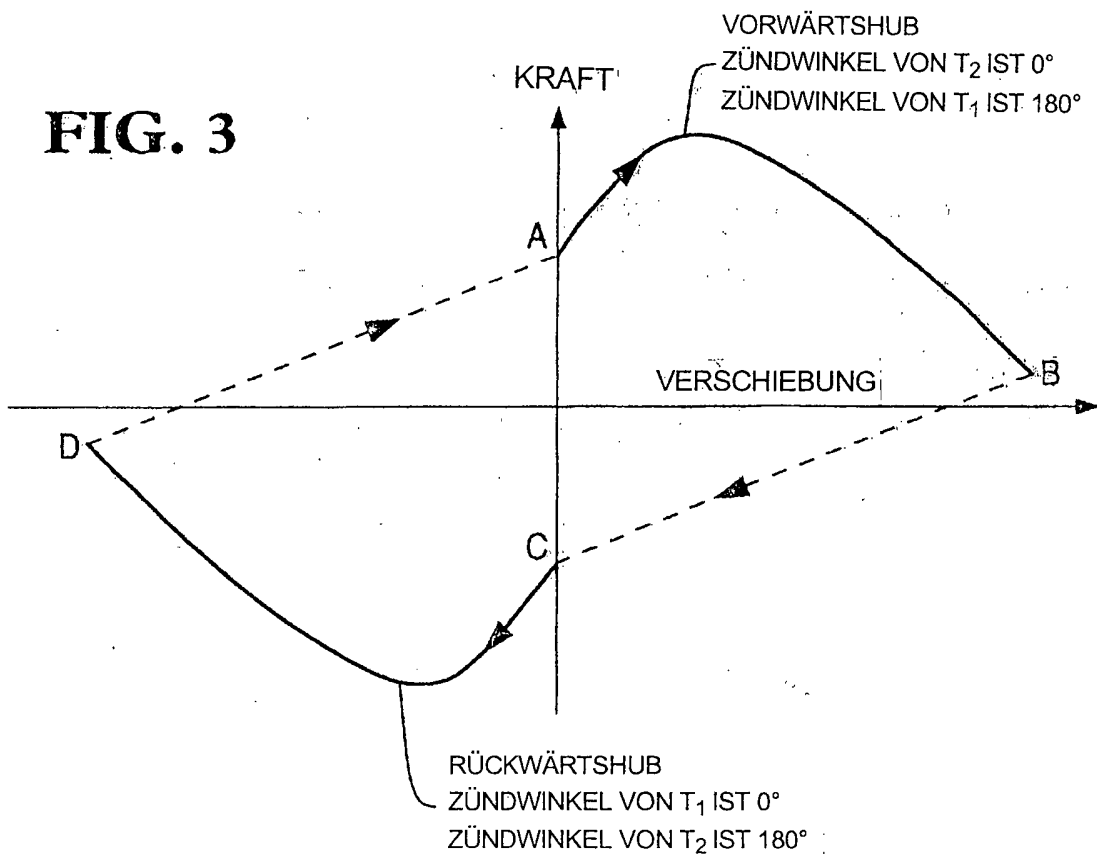


FIG. 4

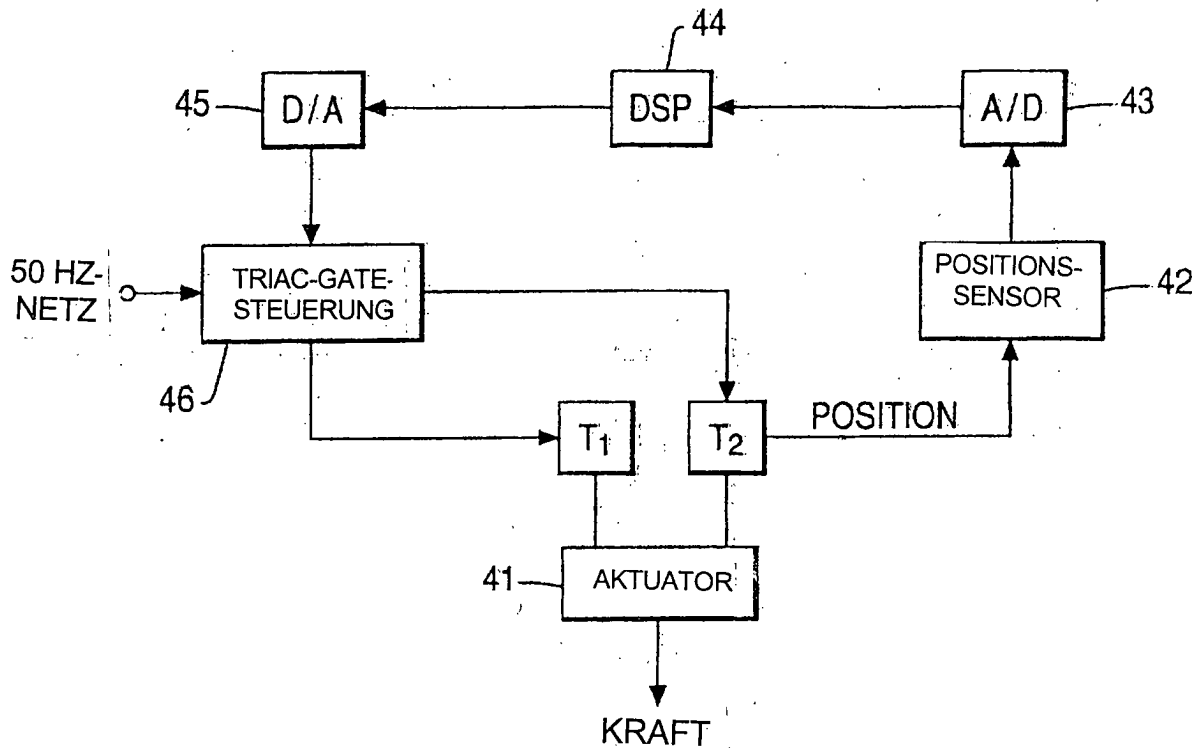


FIG. 5

