(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 1 615 242 A2

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
11.01.2006 Patentblatt 2006/02

(51) Int Cl.:
H01F 7/14 *(2006.01)* ***H01F 7/122*** *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **05012955.0**

(22) Anmeldetag: **16.06.2005**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR LV MK YU

(30) Priorität: **06.07.2004 DE 102004034296**

(71) Anmelder: **Saia-Burgess Dresden GmbH**
01257 Dresden (DE)

(72) Erfinder:
- **Roschke, Thomas, Dr.-Ing.**
  01477 Arnsdorf b. Dresden (DE)
- **Schnitter, Steffen, Dipl.-Ing.**
  02739 Eibau-Walddorf (DE)

(74) Vertreter: **Heyner, Klaus**
Mittelweg 1h
01728 Bannewitz/Dresden (DE)

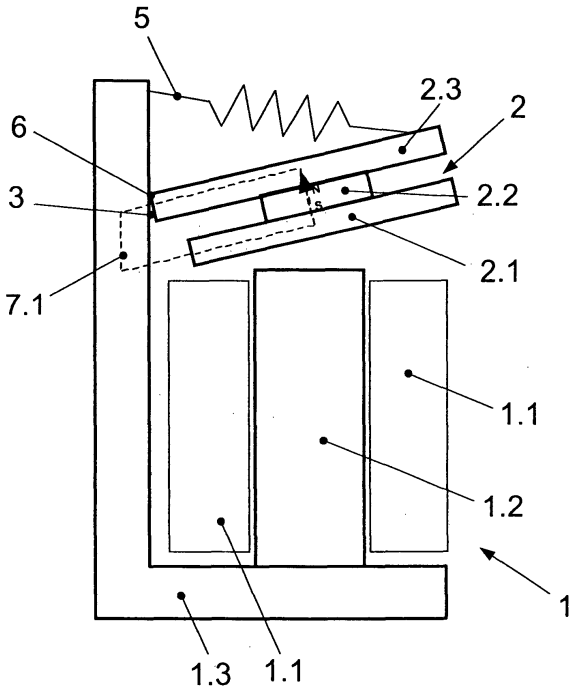
(54) Elektromagnetischer Aktuator

(57) Die Erfindung betrifft einen elektromagnetischen Aktuator, insbesondere einen bipolaren elektromagnetischen Aktuator, der beispielsweise zum gesteuerten Schalten, als Schließ- und Verriegelungssystem, als Hubmagnet sowie als Dreh- und Schwingmagnet Anwendung findet.

Nach der Konzeption der Erfindung besteht der elektromagnetische bipolare Aktuator aus einem einen Kern (1.2) und eine Erregungswicklung (1.1) aufweisenden Elektromagneten (1), einem zwischen einer Offenstellung und einer Schließstellung in Richtung der Längsachse des Elektromagneten (1) beweglichen und mit der Kraft eines Federelements (5) beaufschlagbaren Anker (2), sowie einem in Bewegungsrichtung des Ankers (2) sich erstreckenden Jochschenkel (1.3), der über einen Jochsockel mit dem Kern (1.2) des Elektromagneten (1) verbunden ist. Der Jochschenkel (1.3) verläuft parallel zum Kern (1.2) des Elektromagneten. Der Anker (2) umfasst einen von einem oberen Ankerblech (2.3) und von einem unteren Ankerblech (2.1) sandwichartig eingeschlossenen polarisierten Permanentmagnet (2.2), der zumindest mit einer Stirnseite des oberen Ankerblechs (2.3) am Joch (1.3) anliegt und bei dem zwischen zumindest einer Stirnseite des unteren Ankerblechs (2.1) und dem Joch (1.3) ein Nebenluftspalt (3) vorhanden ist.

Zur Einnahme der Offenstellung und der Schließstellung des Ankers (2) wird die Erregungswicklung (1.1) mittels eines Stromimpulses von geeigneter Polarität derart beaufschlagt, dass die Summe der durch die beiden Magnetfelder des Elektromagneten (1) und des Permanentmagneten (2.2) hervorgerufenen Kraftwirkung kleiner bzw. größer als die Federkraft des Federelements (5) ist.

FIG. 2



EP 1 615 242 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen elektromagnetischen Aktuator, insbesondere einen bipolaren elektromagnetischen Aktuator, der beispielsweise zum gesteuerten Schalten, als Schließ- und Verriegelungssystem, als Hubmagnet sowie als Dreh- und Schwingmagnet Anwendung findet.

[0002] Den elektromagnetischen bipolaren Aktuatoren ist immanent, dass sie eine als Permanentmagnet ausgebildete und eine bestrombare Erregungswicklung als magnetomotorische Kraftquellen (MMK) in einem Magnetkreis aufweisen. Zur Einnahme zweier unterschiedlicher Schaltstellungen verharrt der Aktuator in zwei stabilen Endlagen ohne weitere Energiezufuhr. Das Umschalten von einer Endlage in die andere Endlage erfolgt durch kurze Impulse unterschiedlicher Polarität.

[0003] Als physikalische Wirkprinzipien dieser elektromagnetischen bipolaren Aktuatoren werden das Remanenzprinzip, das Kompensationsprinzip und das Kommutierungsprinzip genutzt.

[0004] Ein nach dem Kommutierungsprinzip arbeitender elektrischer Hubmagnet mit Permanentmagnet ist in der DE 102 07 828 A1 offenbart. Hierbei ist ein Stator und Erregungswicklung aufweisendes Magnetsystem zum Erzeugen eines Magnetflusses in Bewegungsrichtung eines dem Magnetsystem gegenüberliegenden Ankers vorgesehen. Der auf ein Übertragungselement, hier eine Stellstange, arbeitende Anker weist eine senkrecht zu seiner Bewegungsrichtung polarisierte Dauermagnetanordnung auf. Die Dauermagnetanordnung des Ankers ist in Magnetisierungsrichtung von mindestens einem weichmagnetischen Element umgeben. Bei einer ersten Ausführungsform sind zwei elektrische Magnetsysteme vorgesehen, zwischen denen der Anker zwei stabile Endlagen einnehmen kann. Nachteilig bei dieser Ausführungsform ist der hohe konstruktive Aufwand mit zwei Erregungswicklungen, einem aufwendigen Eisenkreis und einer aufwendig gelagerten Schubstange.

Bei einer zweiten Ausführungsform dieser Erfindung ist nur ein elektrisches Magnetfeld und ein mittels einem Federelement mit einer Gegenkraft beaufschlagbarer Anker mit Dauermagnet vorgesehen. Nachteilig hierbei ist die Tatsache, dass bei nicht ausreichender Federkraft, bzw. wenn die Federkraft kleiner als die Anzugskraft ist, der Anker aus seiner zweiten Endlage wieder in die stabile erste Endlage fällt. Der Aktuator verhält sich dann monostabil.

[0005] Aus dem Stand der Technik ist ein Münzfernsprecher vorbekannt, bei dem zur Verteilung der Münzen in die einzelnen Sammelbehälter mehrere baugleiche Elektromagnete eingesetzt werden. Hierbei erfolgt die Energiezufuhr für die Bestromung der Elektromagnete allein durch die standardisierte Telefonleitung. Da die Telefonleitung allerdings nur einen relativ kleinen Maximalstrom zulässt, wird ein minimaler Energieverbrauch für die Elektromagnete gefordert. Zum Einsatz gelangen hierzu nach dem Remanenzprinzip arbeitende bistabile Magnete, die mit kurzen Impulsen zwischen den beiden stabilen Endlagen hin- und hergeschaltet werden. Bei den hier eingesetzten Aktuatoren wird der Klappanker in der geöffneten Position durch eine Rückstellfeder gesichert und in der geschlossenen Position durch die Remanenzkräfte des Eisenkerns nach einem Aufmagnetisierungsimpuls gehalten. Da die Remanenzkräfte der Eisenteile relativ gering sind, werden extrem hohe Anforderungen an die Genauigkeit der Polflächen, die Anschlagflächen der beweglichen Teile und an die Lage der Bauteile zueinander gestellt. Die Polflächen des Ankers und des Sockels im Arbeitsluftspalt müssen insbesondere planparallel liegen damit durch einen Restluftspalt die Kraft nicht zu stark absinkt. Außerdem wird von den Polflächen eine hohe Ebenheit und eine geringe Oberflächenrauheit gefordert. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass nach dem Remanenzprinzip arbeitende bistabile Magnete wegen der hohen Fertigungskosten und der kleinen Magnetkräfte für diese Anwendung erhebliche Nachteile mit sich ziehen.

[0006] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, einen bipolaren elektromagnetischen Aktuator zu entwickeln, der hohe Haltekräfte aufweist, der nur einen geringen Energiebedarf benötigt und bei dem die Anforderungen an die Rechtwinkligkeit bzw. Fertigungsgenauigkeit der Bauteile sowie an die Oberflächengüte des Ankers und des Stators gering sind.

Die Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

[0007] Nach der Konzeption der Erfindung besteht der elektromagnetische bipolare Aktuator aus einem einen Kern und eine Erregungswicklung aufweisenden Elektromagneten, einem zwischen einer Offenstellung und einer Schließstellung in Richtung der Längsachse des Elektromagneten beweglichen und mit der Kraft eines Federelements beaufschlagbaren Anker, sowie einem in Bewegungsrichtung des Ankers sich erstreckenden Jochschenkel, der über einen Jochsockel mit dem Kern des Elektromagneten verbunden ist. Der Jochschenkel verläuft parallel zum Kern des Elektromagneten. Der Anker umfasst einen von einem oberen Ankerblech und von einem unteren Ankerblech sandwichartig eingeschlossenen polarisierten Permanentmagnet, der zumindest mit einer Stirnseite des oberen Ankerblechs am Joch anliegt und bei dem zwischen zumindest einer Stirnseite des unteren Ankerblechs und dem Joch ein Nebenluftspalt vorhanden ist.

[0008] Zur Einnahme der Offenstellung und der Schließstellung des Ankers wird die Erregungswicklung mittels eines Stromimpulses von geeigneter Polarität derart beaufschlagt, dass die Summe der durch die beiden Magnetfelder des Elektromagneten und des Permanentmagneten hervorgerufenen Kraftwirkung kleiner bzw. größer als die Federkraft des Federelements ist.

[0009] Beim Verharren des Ankers in der Offenstellung durchdringt das Permanentmagnetfeld den Anker und über den Nebenluftspalt auch den angrenzenden Teil des Jochs, wobei die dadurch hervorgerufene Kraft-

wirkung kleiner als die Federkraft ist, so dass das Federelement entspannt ist. Beim Verharren des Ankers in der Schließstellung hingegen durchdringt das Permanentmagnetfeld den Anker, das Joch und den Kern der Erregungswicklung, wobei die dadurch hervorgerufene Kraftwirkung größer als die Federkraft ist, so dass das Federelement in gespannter Position verbleibt.

[0010] Für den Einschaltvorgang, also zur Einnahme der Schließstellung des Ankers wird die Erregungswicklung mit einem Gleichspannungsimpuls in der Weise beaufschlagt, dass das resultierende magnetische Feld in Richtung des Magnetfeldes des Permanentmagneten verläuft, d. h. die aus der Summe der magnetischen Flüsse des Permanentmagneten (Φ_P und des Elektromagneten Φ_E resultierende Kraft größer als die Kraft des Federelements F_F ist. Dabei sind Φ_P und Φ_E in ihrer Wirkungsrichtung gleichgerichtet, so dass gilt: $C\cdot(\Phi_P + \Phi_E)^2 > F_F$. Durch die daraus resultierende Kraft im Arbeitsluftspalt wird der Anker geschlossen.

[0011] Für den Ausschaltvorgang, also zur Einnahme der Offenstellung des Ankers wird auf die Erregungswicklung ein Gleichspannungsimpuls entgegengesetzter Polarität gegeben, d. h. das magnetische Feld der Erregungswicklung wirkt entgegen der Richtung des Magnetfeldes des Permanentmagneten und verdrängt dieses in den Nebenluftspalt. Dabei kompensieren sich die magnetischen Flüsse des Permanentmagneten Φ_P und des Elektromagneten Φ_E weitgehend. Damit ist die resultierende Kraft im Arbeitsluftspalt kleiner als die Federkraft, d. h. die Kraft des Federelements F_F ist größer als die Kraft aus der Summe der magnetischen Flüsse Φ_P und Φ_E, so dass gilt: $C\cdot(\Phi_P + \Phi_E)^2 < F_F$

[0012] Die vorliegende Erfindung nutzt als Wirkprinzip für den elektromagnetischen bipolaren Aktuator das Kommutierungsprinzip. Das heißt, dass sich bei gleichgerichteten Magnetflüssen die Kräfte addieren, und bei Polarisationsumkehr eines Magnetfeldes, also zum Generieren entgegengesetzt gerichteter Magnetflüsse, die Kräfte - zumindest teilweise - kompensiert werden. Dadurch kommutiert der permanentmagnetische Fluss Φ_P vom Hauptflussweg durch den Arbeitsluftspalt zum Nebenschluss, bei dem nahezu keine elektromagnetische Kraft auf den Anker erzeugt wird

[0013] In einer ersten bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist das mit dem Kern der Erregungswicklung verbundene Joch, welches den magnetischen Rückfluss sichert, einschenklig ausgebildet. Der Jochschenkel erstreckt sich dabei in Bewegungsrichtung des Ankers und der Jochsockel ist orthogonal zum Kern ausgerichtet. Bei dieser ersten Ausführungsform des Jochs ist der Anker im Bereich einer Stirnseite der oberen Ankerplatte zur Einnahme der Offenstellung und Schließstellung drehbeweglich, also einseitig am Joch bzw. dessen Schenkel angeschlagen. Der Anker umschreibt mit seinem freien Ende demnach eine Kreisbewegung. Der maximale Öffnungswinkel des Ankers gegenüber einer Horizontalen beträgt konstruktionsbedingt in der Praxis jedoch zwischen 1° und 20°. Das zur Sicherstellung der Offenstellung des Ankers verwendete Federelement ist dabei zwischen der oberen Ankerplatte und dem Joch bzw. zwischen der unteren Ankerplatte und dem Sockel verspannt.

[0014] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist das Joch zweischenklig ausgebildet. Die beiden Jochschenkel, die mit dem Jochsockel verbunden sind, erstrecken sich wie bei der einschenkligen Ausbildung des Jochs in Bewegungsrichtung des Ankers und verlaufen somit parallel zum Kern der Erregerspule. Beide Jochschenkel sind über den Jochsockel magnetisch leitend mit dem Kern der Erregerspule verbunden und bilden ein U-förmiges Gebilde. Zur Einnahme der Offenstellung bzw. Schließstellung des Ankers gleitet dieser kolbenartig zwischen den beiden Jochschenkeln gegen die Kraft eines Federelements.

[0015] Dieses Federelement kann zwischen der oberen Ankerplatte des Ankers und einem sich jenseits der Erregungswicklung platzierten Fixpunkt verspannt sein. Dieser Fixpunkt kann sich einerseits an einem Rahmen befinden, der den gesamten elektromagnetischen bipolaren Aktuator trägt, oder aber an einem oder beiden Jochschenkeln befestigt sein. Bevorzugt wird für das Federelement eine Zugfeder oder jede sonstige auf Zug beanspruchbare Feder eingesetzt.
Alternativ kann dieses Federelement zwischen der unteren Ankerplatte des Ankers und dem Sockel verspannt sein. In dieser Variante wird als Federelement vorzugsweise eine Druckfeder oder jede sonstige auf Druck beanspruchbare Feder eingesetzt.

[0016] Der Anker besteht erfindungsgemäß aus drei Bauteilen, nämlich der oberen Ankerplatte, der unteren Ankerplatte und dem Permanentmagneten, der von diesen beiden Ankerplatten sandwichartig eingefasst ist. Diese Bauteile sind flächig und in ihrem Querschnitt vorzugsweise rechteckig oder rund gefertigt. Die Befestigung untereinander erfolgt vorzugsweise mittels dünner nicht magnetisch leitender metallischer Stifte oder nicht magnetisch leitender metallischer Nieten, so dass die verbleibende Kontaktfläche zwischen den Ankerplatten und dem Permanentmagneten möglichst groß ausgebildet wird. Als Verbindungsmittel kann ferner auch ein Metallpulver aufweisendes Haftmittel eingesetzt werden, welches magnetisch leitend ist. Der Permanentmagnet des Ankers ist in Richtung seiner Bewegungsrichtung bzw. in Richtung der Längsachse der Erregungswicklung polarisiert.

[0017] Zur Sicherstellung des Nebenluftspalts zwischen einer Stirnseite des unteren Ankerblech und dem Joch wird das untere Ankerblech kürzer als das obere Ankerblech ausgebildet. Es hat sich bei Versuchen mit einem einschenkligen Joch herausgestellt, dass eine weitere Optimierung hinsichtlich der Ausnutzung des Kommutierungsprinzip unter Verwendung erreicht werden kann, wenn die untere Ankerplatte an der vom Joch abgewandten Seite konisch ausläuft.

[0018] Bei der zweiten bevorzugten Ausführungsform ist die untere Ankerplatte gegenüber der oberen Anker-

platte beidseitig verkürzt ausgebildet. Somit entsteht zwischen der unteren Ankerplatte und den beiden Jochschenkeln jeweils ein Nebenluftspalt.

[0019] Im Vergleich zu den aus dem Stand der Technik vorbekannten Lösungen, die nach dem Remanenzprinzip arbeiten, werden mit dem erfindungsgemäßen nach dem Kommutierungsprinzip arbeitenden elektromagnetischen bipolaren Aktuator höhere Haltekräfte im Schließzustand erzielt.

[0020] Dadurch, dass bei der erfindungsgemäßen Lösung zwischen mindestens einer Stirnwand der unteren Ankerplatte und dem Joch ein Nebenluftspalt ausgebildet ist, wird sichergestellt, dass während des Öffnungsvorgangs das Magnetfeld der Erregungswicklung das entgegengerichtete Magnetfeld des Permanentmagneten in den Nebenluftspalt verdrängt.

[0021] Die exakte Bemessung des Nebenluftspalts ist deshalb unerlässlich für die Funktionsweise des erfindungsgemäßen bipolaren elektromagnetischen Aktuators und abhängig von der Feldstärke Φ_P und Φ_E der Magnetfelder des Permanentmagneten und des Elektromagneten. Damit im Öffnungszustand des Ankers das Permanentmagnetfeld den Anker und über den Nebenluftspalt auch das Joch durchdringen kann, ist der Nebenluftspalt stets derart zu bemessen und auszulegen, das dieser geringer ist, als der mittlere Abstand zwischen der unteren Ankerplatte des Ankers und der zur unteren Ankerplatte weisenden Stirnseite des Kerns der Erregungswicklung; also des Arbeitsluftspaltes.

[0022] Die signifikanten Vorteile und Merkmale der Erfindung gegenüber dem Stand der Technik sind im Wesentlichen:

- es werden nur wenige Bauteile benötigt,
- niedriger Energiebedarf für die Erregungswicklung, nämlich weniger als die Hälfte der Energie, die ein vergleichbarer bipolarer Aktuator nach dem Remanenzprinzip benötigt,
- wesentlich höhere Haltekräfte im Schließzustand des Ankers (mehr als doppelt soviel Kraft, die ein vergleichbarer bipolarer Aktuator nach dem Remanenzprinzip erzeugt),
- geringere Anforderungen an die Fertigung der Bauteile, insbesondere Anker und Joch,
- einfache Umkehr der Polarität der Erregungswicklung und
- robuster Aufbau und dadurch weniger störanfällig.

[0023] Die Ziele und Vorteile dieser Erfindung sind nach sorgfältigem Studium der nachfolgenden ausführlichen Beschreibung der hier bevorzugten, nicht einschränkenden Beispielausgestaltungen der Erfindung mit den zugehörigen Zeichnungen besser zu verstehen und zu bewerten, von denen zeigen:

Fig.1: eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen elektromagnetischen bipolaren Aktuators,

Fig. 2: den Magnetfluss innerhalb des elektromagnetischen bipolaren Aktuators in der Offenstellung des Ankers,

Fig. 3: den Magnetfluss innerhalb des elektromagnetischen bipolaren Aktuators während des Schließens des Ankers,

Fig. 4: der zugehörige Spannungs- und Stromverlauf während des Schließens bzw. des Einschaltvorgangs,

Fig. 5: den Magnetfluss innerhalb des elektromagnetischen bipolaren Aktuators in der Schließstellung des Ankers,

Fig. 6: den Magnetfluss innerhalb des elektromagnetischen bipolaren Aktuators während des Öffnens des Ankers und

Fig. 7: der zugehörige Spannungs- und Stromverlauf während des Öffnens bzw. des Ausschaltvorgangs.

[0024] Fig. 1 illustriert eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen elektromagnetischen bipolaren Aktuators in seinem Aufbau. Der elektromagnetische Teil des Aktuators besteht aus einem einen Kern 1.2 und eine Erregungswicklung 1.1 aufweisenden Elektromagnet 1. Der auf dem einschenkligen Joch 1.3 aufsitzende und mit ihm verbundene Kern 1.2 ist ferritisch und beim Bestromen der Erregungswicklung 1.1 damit magnetisch leitend ausgebildet. Der sich an den Jochsockel anschließende Jochschenkel erstreckt sich in Richtung der Längsachse der Erregungswicklung 1.1 und damit in Bewegungsrichtung des Ankers 2, der den permanentmagnetischen Teil des Aktuators bildet. Der als Klappanker ausgebildete Anker 2 umfasst eine obere Ankerplatte 2.3, eine untere Ankerplatte 2.1 und einen von diesen beiden Ankerplatten 2.3, 2.1 eingeschlossenen Permanentmagnet 2.2. An einer Stirnseite der oberen Ankerplatte 2.3 ist der Anker 2 an dem Jochschenkel 1.3 drehbar angelenkt. Die untere Ankerplatte 2.1 ist gegenüber der oberen Ankerplatte 2.3 kürzer ausgebildet, wodurch zwischen der unteren Ankerplatte 2.1 und dem Jochschenkel ein Nebenluftspalt 3 entsteht. Im Öffnungszustand nimmt der Anker 2 eine erste stabile Endlage ein. Da zwischen dem Jochschenkel und der oberen Ankerplatte 2.3 ein als Feder ausgebildetes Federelement 5 verspannt angeordnet ist, kann der Anker 2 in dieser Position verbleiben. Im Schließzustand, wie hier dargestellt, liegt der Anker 2 auf einer Stirnseite des Kerns 1.2 der Erregungswicklung 1.1 auf, was der zweiten stabilen Endlage des Ankers 2 entspricht. Physikalisch bedingt ist zwischen der Unterseite der unteren Ankerplatte 2.1 und der Stirnseite des Kerns 1.2 der Erregungswicklung 1.1 ein sehr geringer Luftspalt 4 ausgebildet, der hier zu besseren Kenntlichmachung übertrieben dargestellt ist.

[0025] Im Folgenden wird die Wirkungsweise des erfindungsgemäßen elektromagnetischen bipolaren Aktuators näher erläutert.

[0026] In Fig. 2 ist der Öffnungszustand des Ankers 2 gezeigt. Der Anker 2 verweilt in seiner ersten stabilen

Endlage. Die Erregungswicklung 1.1 ist unbestromt. Die Positionierung des Ankers 2 wird durch ein Federelement 5 aufrecht erhalten, dass zwischen der oberen Ankerplatte 2.3 und dem einschenkligen Joch 1.3 verspannt angeordnet ist. Der durch den in Richtung der Längsachse der Erregungswicklung 1.1 polarisierte Permanentmagnet 2.2 verursachte Magnetfluss durchdringt den Anker 2 und über den Nebenluftspalt 3 auch das Joch 1.3. Die dadurch hervorgerufene Kraftwirkung ist kleiner als die Federkraft.

[0027] In den Fig. 3 und Fig. 4 ist der Einschaltvorgang, also der Vorgang des Schließens des Ankers 2, und der zugehörige Spannungs- und Stromverlauf illustriert. Während der Anker 2 gemäß Fig. 2 noch in seiner ersten stabilen Endlage ausgerichtet ist, wird zum Erreichen der in Fig. 3 und Fig. 5 dargestellten Schließposition die Erregungswicklung 1.1 mit einem Gleichspannungsimpuls beaufschlagt. Neben dem Magnetfeld 7.1 (gestrichelt dargestellt) mit dem Magnetfluss Φ_P des Permanentmagneten 2.2 wird ein zweites Magnetfeld 7.2 (durchgezogene Linie) mit dem Magnetfluss Φ_E durch die Erregungswicklung 1.1 des Elektromagneten 1 generiert. Die magnetischen Flüsse 7.1 des Permanentmagneten 2.2 Φ_P und 7.2 des Elektromagneten 1 Φ_E sind in ihrer Wirkungsrichtung gleichgerichtet und addieren sich zu einem gemeinsamen elektromagnetischen Fluss mit dem resultierenden Magnetfeld 7.3. Das resultierende Magnetfeld 7.3 wirkt dabei in Richtung des Magnetfeldes 7.1 des Permanentmagneten 2.2, wobei der Anker 2 durch die resultierende Kraft im Arbeitsluftspalt 4 angezogen wird. Der Anker 2 nimmt seine zweite stabile Endstellung ein. Die Kraftwirkung des resultierenden Magnetfeldes 7.3 ist größer als die Kraft des Federelements 5 F_F, so dass gilt: $C\cdot(\Phi_P + \Phi_E)^2 > F_F$. Die Fig. 4 zeigt sehr deutlich, dass die Impulsdauer der Strombeaufschlagung der Erregungswicklung nur kurz sein muss.

[0028] In Fig. 5 ist der Schließzustand des Ankers 2 gezeigt. Der Anker 2 verweilt in seiner zweiten stabilen Endlage. Die Erregungswicklung 1.1 ist wiederum unbestromt. Der Anker 2 liegt mit der Unterseite der unteren Ankerplatte 2.1 auf einer Stirnseite des Kerns 1.2 der Erregungswicklung 1.1 auf, wodurch das Federelement 5 gespannt wird. Das Permanentmagnetfeld 7.1 durchdringt den Anker 2, das Joch 1.3 und den Kern 1.2 der Erregungswicklung 1.1. Die durch das Permanentmagnetfeld 7.1 hervorgerufen Kraftwirkung ist größer als die Federkraft. Allein durch die Kraft des Permanentmagnetfeldes 7.1 wird der Anker 2 in dieser zweiten Endlage gehalten.

[0029] Die Fig. 6 und Fig. 7 illustrieren den Ausschaltvorgang zum Erreichen der stabilen Endlage gemäß Fig. 2, also der Vorgang des Öffnens des Ankers 2, und den zugehörigen Spannungs- und Stromverlauf. Während der Anker 2 gemäß Fig. 5 noch in seiner zweiten stabilen Endlage ausgerichtet ist, wird in der Fig. 6 die Erregungswicklung 1.1 zum Zwecke des Öffnens des Ankers 2 mit einem Gleichspannungsimpuls beaufschlagt. Neben dem Magnetfeld 7.1 des Permanentmagneten 2.2 wird ein zweites Magnetfeld 7.2 durch die Erregungswicklung 1.1 generiert. Die elektromagnetischen Flüsse 7.1, 7.2 des Permanentmagneten 2.2 Φ_P, und des Elektromagneten 1 Φ_E sind in ihrer Wirkungsrichtung entgegengerichtet und kompensieren sich nahezu. Die Pfeile verdeutlichen die beiden entgegengesetzten Wirkungsrichtungen. Das Magnetfeld 7.2 der Erregungswicklung 1.1 verdrängt das Magnetfeld 7.1 des Permanentmagneten 2.2 in den Nebenluftspalt 3, wobei die resultierende Kraft des resultierenden Magnetfeldes 7.3 im Arbeitsluftspalt 4 kleiner als die Federkraft F_F ist. Der Anker 2 wird durch das Federelement 5 angezogen und nimmt seine erste stabile Endstellung ein. Es gilt somit: $C\cdot(\Phi_P+\Phi_E)^2<F_F$. In Fig. 7 ist wiederum die Impulsdauer der Strombeaufschlagung der Erregungswicklung 1.1 dargestellt. Der Unterschied zur Fig. 4 besteht jedoch darin, dass eine Polarisationsumkehr des Magnetfeldes 7.2 des Elektromagneten 1 erfolgte.

LISTE DER BEZUGSZEICHEN

[0030]

1	Elektromagnet
1.1	Wicklung
1.2	Kern
1.3	Joch
2	Anker
2.1	unteres Ankerblech
2.2	Permanentmagnet
2.3	oberes Ankerblech
3	Nebenluftspalt
4	Arbeitsluftspalt
5	Federelement
6	Anschlagpunkt
7	Magnetfelder
7.1	Permanentmagnetfeld
7.2	Elektromagnetfeld
7.3	resultierendes Magnetfeld

Patentansprüche

1. Elektromagnetischer bipolarer Aktuator, bestehend aus einem einen Kern (1.2) und eine Erregungswicklung (1.1) aufweisenden Elektromagnet (1), einem zwischen einer Offenstellung und einer Schließstellung in Richtung der Längsachse des Elektromagneten (1) beweglichen und mit der Kraft eines Federelements (5) beaufschlagbaren Anker (2), sowie einem in Bewegungsrichtung des Ankers (2) sich erstreckenden Joch (1.3), das mit dem Kern (1.2) des Elektromagneten (1) verbunden ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anker (2) einen von einem oberen Ankerblech (2.3) und von einem unteren Ankerblech (2.1) sandwichartig eingeschlossenen polarisierten Permanentmagnet (2.2) umfasst, der zumindest mit einer Stirnseite des oberen Ankerblechs

(2.3) am Joch (1.3) anliegt und bei dem zwischen zumindest einer Stirnseite des unteren Ankerblechs (2.1) und dem Joch (1.3) ein Nebenluftspalt (3) vorhanden ist,

a. wobei zur Einnahme der Offenstellung und der Schließstellung des Ankers (2) die Erregungswicklung (1.1) mittels eines Stromimpulses von geeigneter Polarität derart beaufschlagbar ausgebildet ist, dass die Summe der durch die beiden Magnetfelder (7.2, 7.1) des Elektromagneten (1) und des Permanentmagneten (2.2) hervorgerufenen Kraftwirkung kleiner oder größer der Federkraft des Federelements (5) ist, und

b. beim Verharren des Ankers (2) in der Offenstellung das Permanentmagnetfeld (2.2) den Anker (2) und über den Nebenluftspalt (3) das Joch (1.3) durchdringt, und die **dadurch** hervorgerufene Kraftwirkung kleiner als die Federkraft des Federelements (5) ist, und dass

c. beim Verharren des Ankers (2) in der Schließstellung das Permanentmagnetfeld (7.1) den Anker (2), das Joch (1.3) und den Kern (1.2) der Erregungswicklung (1.1) durchdringt, und die **dadurch** hervorgerufene Kraftwirkung größer als die Federkraft ist.

2. Elektromagnetischer bipolarer Aktuator nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** für den Einschaltvorgang, also zur Einnahme der Schließstellung des Ankers (2), die Summe der magnetischen Flüsse (7.1, 7.2) des Permanentmagneten (2.2) Φ_I, und des Elektromagneten (1) Φ_E größer als die Kraft des Federelements (5) F_F ist und dabei Φ_P und Φ_E in ihrer Wirkungsrichtung gleichgerichtet sind, so dass gilt: $C\cdot(\Phi_P+\Phi_E{}^2<F_F$.

3. Elektromagnetischer bipolarer Aktuator nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** für den Ausschaltvorgang, also zur Einnahme der Offenstellung des Ankers (2), die magnetischen Flüsse (7.1, 7.2) des Permanentmagneten (2.2) Φ_P und des Elektromagneten (1) (Φ_E sich weitgehend kompensieren und damit die Kraft des Federelements (5) F_F größer ist als die Kraft aus der Summe der magnetischen Flüsse Φ_P und Φ_E, so dass gilt: $C\cdot(\Phi_P+\Phi_E{}^2<F_F$.

4. Elektromagnetischer bipolarer Aktuator nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das in Bewegungsrichtung des Ankers (2) sich erstreckende Joch (1.3) einschenklig ausgebildet ist, und der Anker (2) im Bereich einer Stirnseite der oberen Ankerplatte (2.3) zur Einnahme der Offenstellung und Schließstellung drehbeweglich am Joch (1.3) angeschlagen ist, wobei dass das Federelement (5) zwischen der oberen Ankerplatte (2.3) und dem Joch (1.3) verspannt ist oder alternativ zwischen Sockel und unterer Ankerplatte als Druckfeder angeordnet ist

5. Elektromagnetischer bipolarer Aktuator nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das in Bewegungsrichtung des Ankers (2) sich erstreckende Joch (1.3) zweischenklig ausgebildet ist, so dass der Anker (2) zur Einnahme seiner Offenstellung bzw. Schließstellung kolbenartig zwischen den beiden Jochschenkeln gegen die Kraft eines Federelements (5) gleitend angeordnet ist.

6. Elektromagnetischer bipolarer Aktuator nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Federelement (5) zwischen der oberen Ankerplatte (2.3) und einem sich jenseits der Erregungswicklung (1.1) platzierten Fixpunkt verspannt ist oder alternativ zwischen Sokkel und unterer Ankerplatte als Druckfeder angeordnet ist.

7. Elektromagnetischer bipolarer Aktuator nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Ausbildung eines Nebenluftspalts (3) zwischen dem zu der Erregungswicklung (1.1) weisenden unteren Ankerblech (2.1) des Ankers (2) und dem Joch (1.3) das untere Ankerblech (2.1) kürzer als das obere Ankerblech (2.3) ausgebildet ist.

8. Elektromagnetischer bipolarer Aktuator nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die ausschließlich durch das Permanentmagnetfeld (7.1) hervorgerufene Haltekraft beim Verharren des Ankers (2) in der Schließstellung etwa doppelt so groß ist, als bei einem herkömmlichen Remanenzmagneten.

9. Elektromagnetischer bipolarer Aktuator nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anker (2) in seinem Querschnitt eckig oder rund ausgebildet ist.

FIG. 1

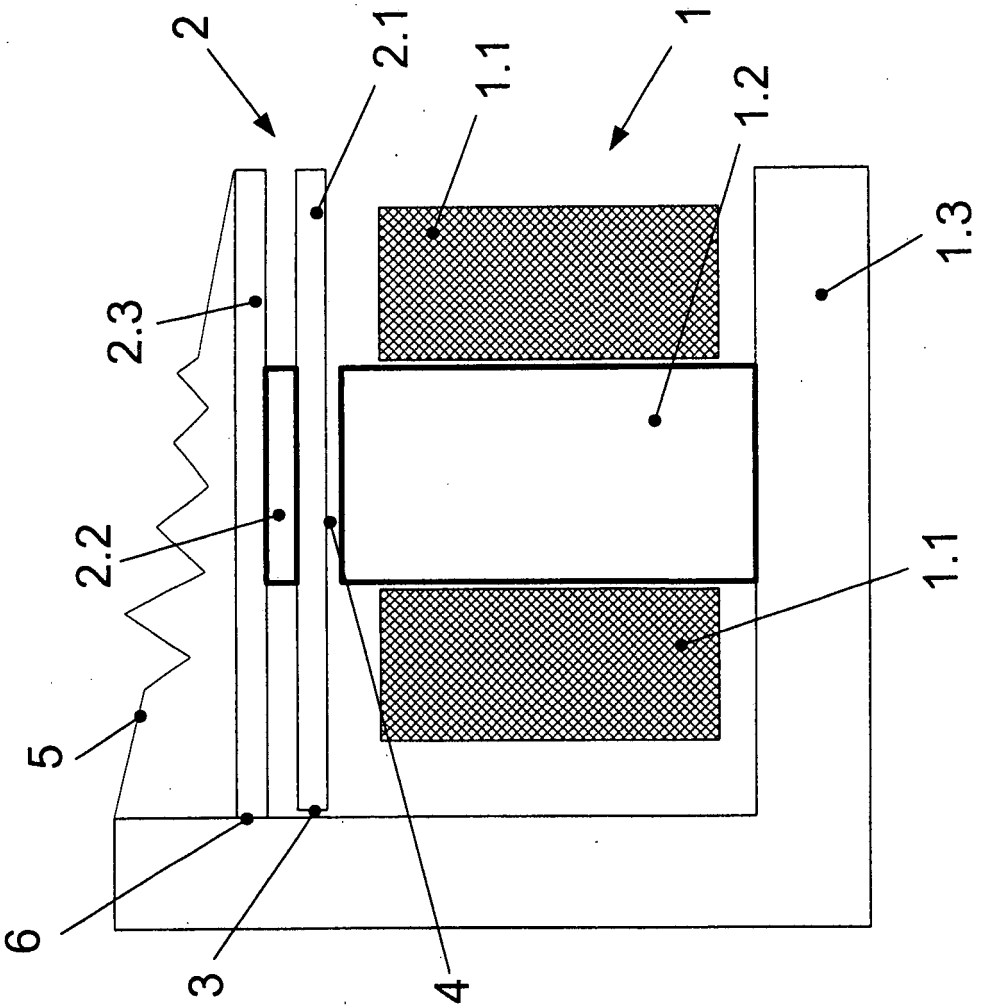


FIG. 2

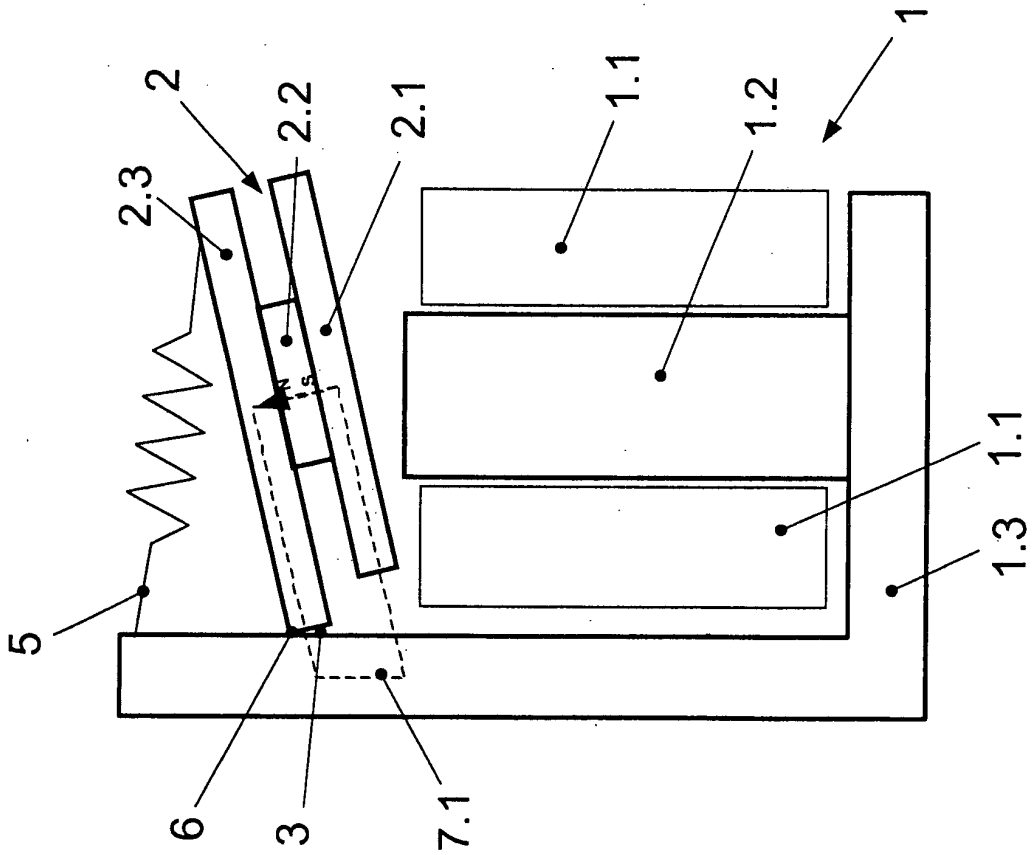


FIG. 3

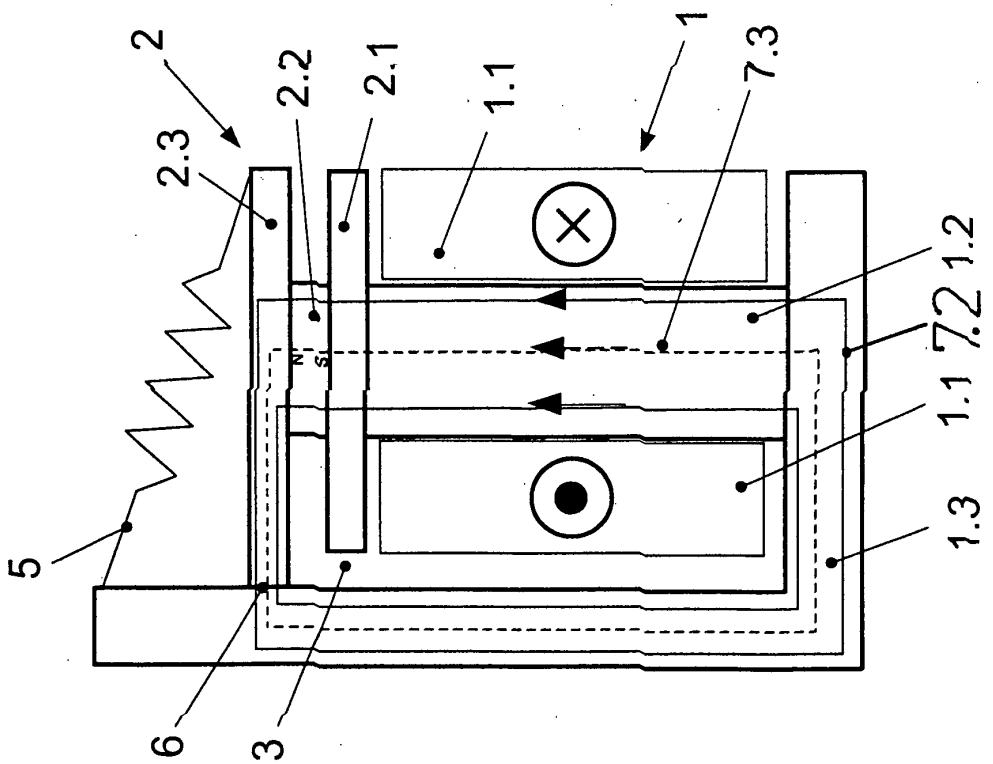

2
2.2
2.1
1.1
1
7.3
2.3
1.2
7.2
1.1
1.3
5
6
3

FIG. 4

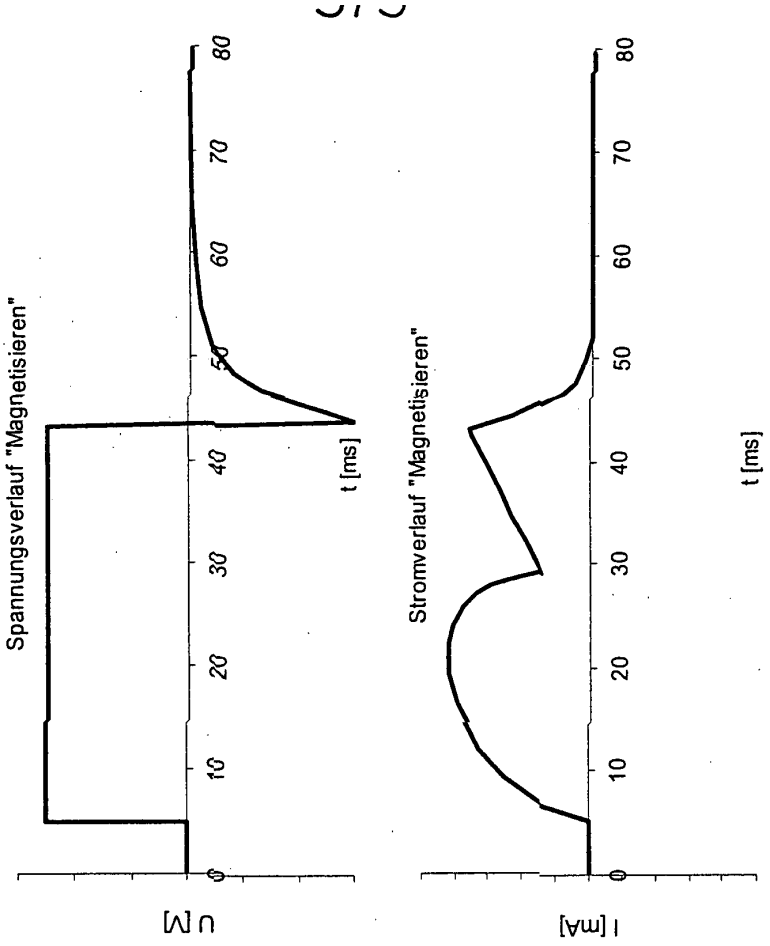

Spannungsverlauf "Magnetisieren"
U [V]
t [ms]
Stromverlauf "Magnetisieren"
I [mA]
t [ms]
0
10
20
30
40
50
60
70
80

FIG. 5

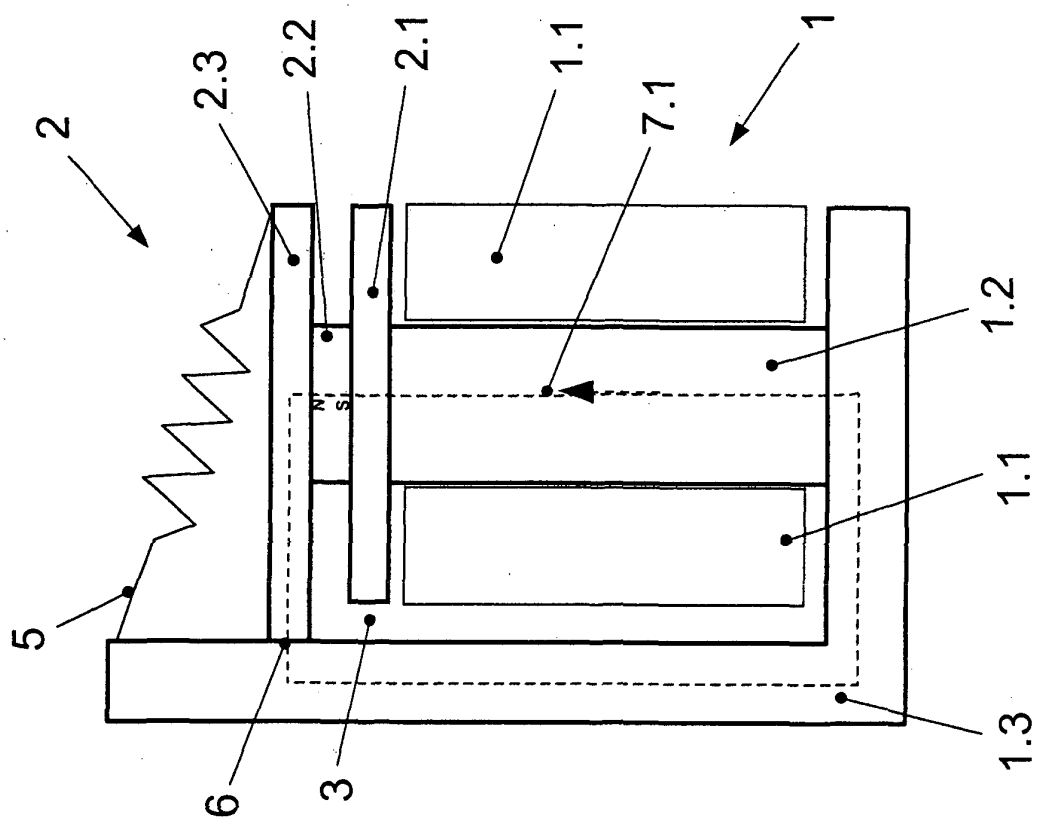


FIG. 7

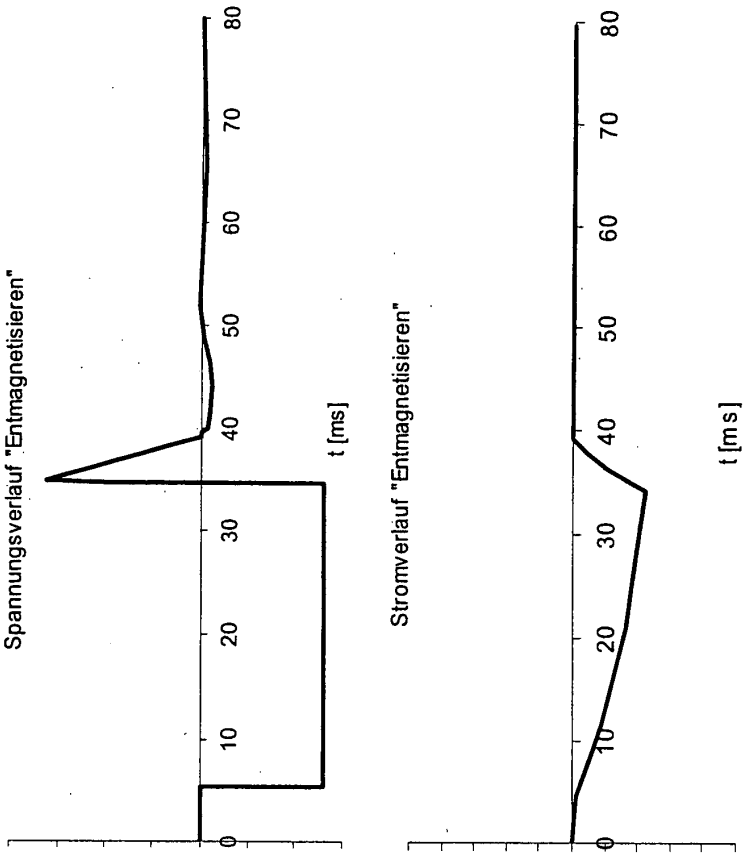
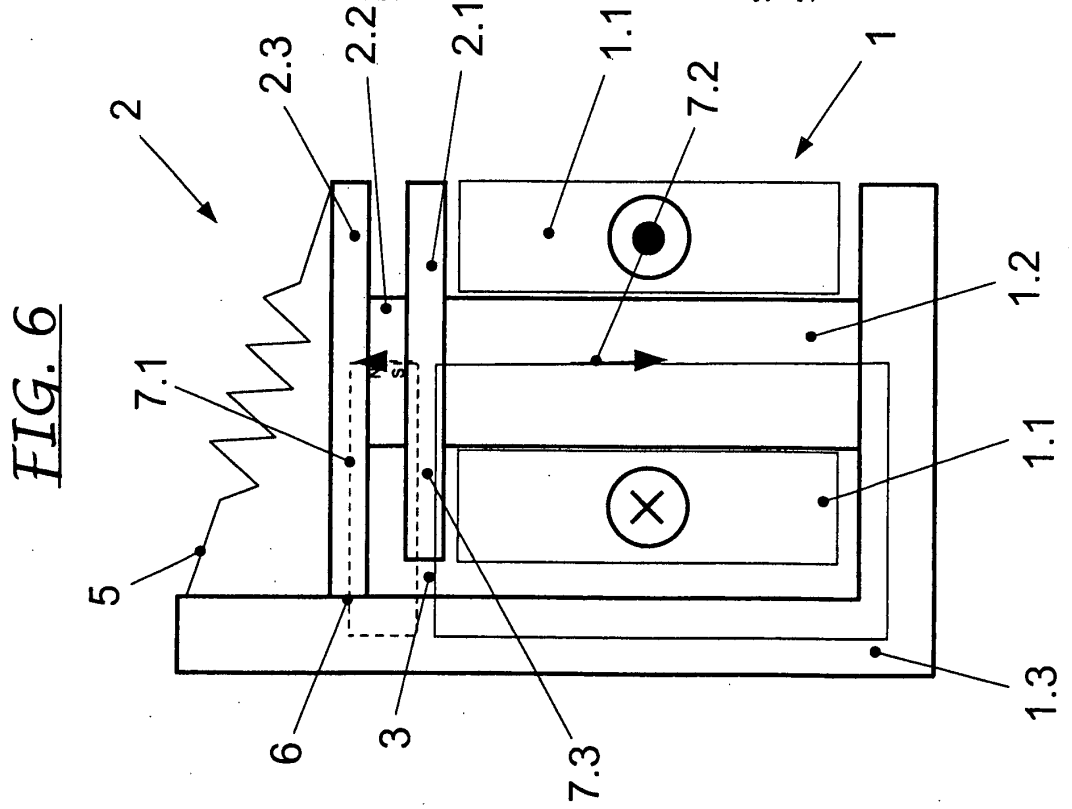

Spannungsverlauf "Entmagnetisieren"
t [ms]
U [V]
Stromverlauf "Entmagnetisieren"
t [ms]
I [mA]

FIG. 6


2
2.3
2.2
2.1
1.1
7.2
1
7.1
1.2
1.1
5
6
3
7.3
1.3