



(10) **DE 10 2015 114 384 B3** 2016.11.17

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2015 114 384.4**
(22) Anmeldetag: **28.08.2015**
(43) Offenlegungstag: –
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **17.11.2016**

(51) Int Cl.: **G01B 21/22** (2006.01)
G01D 5/249 (2006.01)
G01B 7/30 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Fritz Kübler GmbH Zähl- und Sensortechnik,
78054 Villingen-Schwenningen, DE**

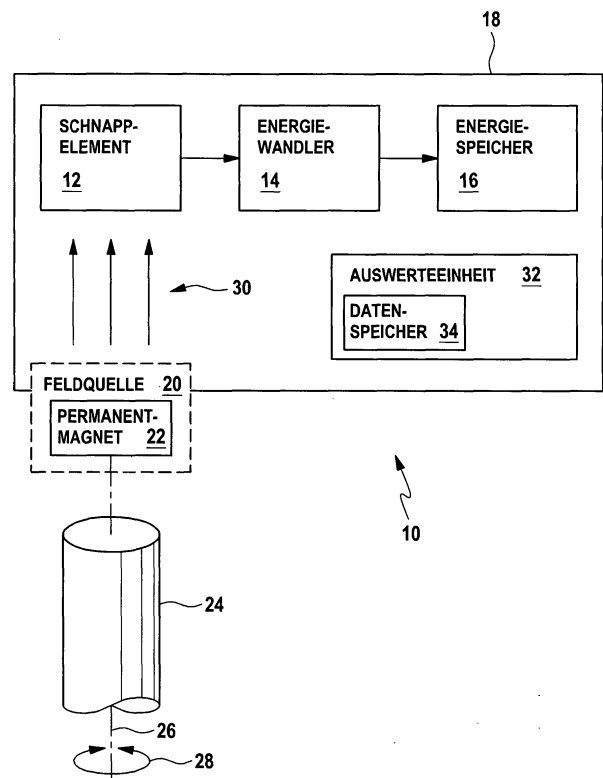
(72) Erfinder:
**Becker, Philipp, 78050 Villingen-Schwenningen,
DE; Steiner, Viktor, 78532 Tuttlingen, DE**

(74) Vertreter:
**WITTE, WELLER & PARTNER Patentanwälte mbB,
70173 Stuttgart, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **Energieautarker Multiturn-Drehgeber mit Schnappelement**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen energieautarken Multiturn-Drehgeber (10) mit: einem Gehäuse (18), einem mechanisch verformbaren Schnappelement (12), das einen länglichen Körper (51) aufweist, der sich im Wesentlichen entlang einer Längsrichtung (37) erstreckt und sich in der Längsrichtung (37) gegenüberliegende gehäuse-feste Enden (54) aufweist, wobei ein zwischen den gehäuse-festen Ende (54) liegender Schnappabschnitt (56) des Körpers (51) quer, vorzugsweise senkrecht (A), zur Längsrichtung (37), vorzugsweise ausschließlich, durch ein äußeres veränderliches Kraftfeld (30), welches durch eine an einer Geberwelle (24) vorgesehene Feldquelle (20) hervorgerufen wird, mittels mechanischer Verformung zwischen einer ersten stabilen Endstellung (P1) und einer zweiten Endstellung (P2) beweglich ist, wobei die zweite Endstellung (P2) stabil oder metastabil ist, wobei das Schnappelement (12) eingerichtet ist, mit dem Kraftfeld (30) so wechselzuwirken, dass sich der Schnappabschnitt (56) aus der ersten Endstellung (P1) in die zweite Endstellung (P2) bewegt, wenn eine Stärke des Kraftfelds (30) einen vorgegebenen Schwellenwert ($-F_H$) überschreitet, einer Energiewandlungseinheit (14), die eingerichtet und angeordnet ist, die mechanische Verformung des Schnappabschnitts (56) zwischen den Endstellungen (P1, P2) zumindest teilweise in elektrische Energie zu wandeln, und vorzugsweise einem Energiespeicher (16), der elektrisch mit der Energiewandlungseinheit (14) verbunden ist.



(19)



Deutsches
Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2015 114 384 B3** 2016.11.17

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	34 08 478	C1
DE	102 59 223	B3
DE	103 55 859	B3
DE	10 2004 055 626	B3
DE	10 2005 056 405	B3
DE	101 25 059	A1
DE	196 26 654	A1
DE	10 2013 208 648	A1
DE	10 2013 211 522	A1
EP	0 516 572	B1

Ando, Bruno u.a.: A Low-Cost Snap-Through-Buckling Inkjet-Printed Device for Vibrational Energy Harvesting. IEEE Sensors Journal, Juni 2015, Vol.15(6), pp.3209-3220.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen energieautarken Multiturn-Drehgeber, der insbesondere nach dem „Energy-Harvester“-Prinzip arbeitet.

[0002] Das Dokument DE 10 2013 208 648 A1 offenbart eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Generieren eines elektrischen Impulses. Das Dokument DE 10 2013 211 522 A1 offenbart einen Sensor zur Erfassung einer physikalischen Eigenschaft in einem Antriebsstrang eines Kraftfahrzeugs. Der Artikel "A low-cost snap-through buckling inkjet-printed device for vibrational energy harvesting (IEEE Sensors Journal, Juni 2015, Vol. 15(6), pp. 3209–3220)" offenbart ein neues Verfahren zum Realisieren von Vorrichtungen, die Energie aufgrund von mechanischen Vibrationen erzeugen.

[0003] In Anwendungen, in denen neben der aktuellen Wellenposition auch die Anzahl der gesamten Umdrehungen von Interesse sind, können Geber, die bei vollständiger Umdrehung einen Nullimpuls absetzen, eingesetzt werden. Dieser Nullimpuls kann von einer äußeren Kontrollstation gespeichert und verarbeitet werden. Die absolute Position in Bezug auf Winkelstellung und Anzahl der Umdrehungen ist dem System somit bekannt. Dies ist jedoch nur dann gegeben, wenn das System stets mit Energie versorgt wird und die Bewegung der Welle lückenlos überwacht wird. Anwendungen, bei denen keine ständige Energieversorgung gewährleistet werden kann, scheiden für einen solchen Einsatz von Inkrementalgebern aus. Dies können z. B. Einsatzszenarien sein, bei denen die Wellen spannungslos nachlaufen, Systeme manuell eingerichtet werden oder Nothalt-Situationen auftreten.

[0004] Für derartige Einsatzszenarien eignet sich der Einsatz von MT-Absolutdrehgebern. Diese ermitteln, neben der aktuellen Wellenposition innerhalb einer Umdrehung (Singleturn), auch die Gesamtanzahl der Umdrehungen (Multiturn). Die gewonnene Information über Position und Drehzahl wird in einem Speicher abgelegt und bleibt auch nach Verlust der Energieversorgung gespeichert. Sollte eine weitere Bewegung im energielosen Zustand stattfinden, so sind diese Systeme in der Lage, diese Bewegung, ohne Energiezufuhr von außen, zu detektieren und die Bewegungs- und Positionsinformation dauerhaft zu speichern.

[0005] Es sind mechanische Drehgeber zur Bestimmung eines Multiturn (MT) bekannt (z. B. DE 196 26 654 A1), bei denen mehrere Winkelcodierscheiben über ein Untersetzungsgetriebe miteinander verbunden sind. Eine jeweils nachgeschaltete Winkelcodierscheibe wird bei einer vollständigen Umdrehung einer vorgeschalteten Winkelcodierscheibe um eine ihrem Auflösungsvermögen ent-

sprechende Einheit gedreht. Bei dieser Art von Drehgebern empfiehlt sich entsprechend der Anzahl der Codierscheiben auch eine Anzahl der Abtastsysteme. Für das Untersetzungsgetriebe ist eine hohe Präzision erforderlich. Diese Art von Drehgebern kann nur aufwendig montiert werden. Das Untersetzungsgetriebe ist nicht verschleißfrei und erlaubt nur begrenzte Drehzahlen.

[0006] Es sind auch MT-Drehgeber mit einer elektronischen Zähleinheit bekannt (z. B. EP 0 516 572 B1), bei denen anstelle des mechanischen Getriebes eine Codierscheibe eingesetzt wird, die mit der Geberwelle direkt verbunden ist und die dazu dient, die Anzahl der Umdrehungen der Geberwelle zu erfassen. Ein auf dieser zusätzlichen Codierscheibe befindlicher Code wird optisch ausgelesen und in Zählimpulse gewandelt, die an eine Zähleinheit weiter gegeben werden. Zur Pufferung entsprechender Daten ist ein Akku oder eine Batterie zusammen mit der Zählereinheit im Drehgeber untergebracht. Da die permanente optische Auslesung der Codierscheiben verhältnismäßig viel Strom verbraucht, weil eine Lichtquelle bei diesem Ausleseverfahren ständig bestromt werden muss, um keine Daten zu verlieren, fallen die Akkus bzw. Batterien relativ groß aus.

[0007] Darum hat der Drehgeber selbst ebenfalls eine entsprechende Baugröße, da ein Akku oder eine Batterie eingesetzt werden muss, die eine brauchbare Daten-Pufferzeit von typischerweise mehreren Jahren voraussetzt. Ein solches optisches System ist des Weiteren auch für bestimmte harte Einsatzfälle nicht geeignet, bei denen hohe mechanische Stöße auftreten oder Kondenswasser-auslösende klimatische Bedingungen herrschen.

[0008] Weiterhin sind Umdrehungszähler bekannt, die bei einer abgeschalteten externen Versorgungsspannung eine kinetische Energie der Wellenbewegung in elektrische Energie umwandeln und daraus zumindest den Umdrehungszähler elektrisch speisen (Energy Harvester).

[0009] Ein derartiges Verfahren, bei dem kinetische Energien in elektrische Energie umgewandelt werden, beruht z. B. auf dem sogenannten Wiegand-Effekt. Ein solcher Umdrehungszähler ist u. a. in der DE 10 259 223 B3 gezeigt. Die DE '223 B3 zeigt einen energieautarken Umdrehungszähler auf Basis eines Wiegand-Sensors. Bei dieser vorbekannten Lösung werden nur ein Wiegand-Sensor und ein Dipolmagnet als Erregermagnet eingesetzt. Zusätzlich muss zwingend ein spezifischer Low-Power-Hallsensor oder eine zweite Induktionsspule für die Ermittlung einer Polarität des externen Magnetfelds eingesetzt werden. Außerdem werden teilweise zusätzliche Flussleitstücke eingesetzt. Diese Maßnahmen verteuern das System der DE '223 B3 erheblich. Der Hallsensor ist ein komplexes Schaltungsgebilde, das,

nachdem ein Impuls im Wiegand-Sensor ausgelöst ist, typischerweise eine relativ lange Einschwingzeit bis zur vollständigen Funktionsbereitschaft zeigt. In dieser Zeit geht aber ein Teil der durch den sogenannten Wiegand-Impuls erzeugten Energie verloren, z. B. in Form von Kriechströmen. Die DE '223 B3 zeigt keine detaillierte Gesamtlösung für einen Umdrehungszähler, der auch einen feinauflösenden Single-Turn-Sensor (ST-Sensor) ermöglicht.

[0010] Das Dokument DE 34 08 478 C1 zeigt einen magnetoinduktiven Inkrementalgeber, der energieautark mit sogenannten Wiegand- oder Impulsdrähten ausgestattet ist. Bei einer Rotation dieser Drähte am Außenumfang einer (Geber-)Welle, an der ein Erregermagnet befestigt ist, werden diese Drähte an dem Magneten vorbeibewegt, so dass eine schlagartige Ummagnetisierung der Impulsdrähte bewirkt wird. Diese Ummagnetisierung induziert eine entsprechende Spannung in einer Spule, die die Impulsdrähte umgibt. Durch eine Zählung der Wiegand-Ummagnetisierungs-Impulse kann eine Winkelstellung (absoluter Drehwinkel) und die Anzahl der vollständig durchlaufenen 360° Umdrehungen ermittelt werden. Jedoch liefert dieses System beim erstmaligen Einschalten keine Absolutposition.

[0011] Aktuell werden also drei verschiedene Technologien zur Ermittlung der Anzahl der Umdrehungen verwendet, nämlich die mehrstufigen Getriebe, die batteriegestützten Verfahren sowie das „Energy-Harvesting“.

[0012] MT-Absolut-Drehgeber mit „Energy-Harvesting“-Technologien gewinnen, die zu Umdrehungszählung notwendige Energie direkt aus der Drehbewegung der Welle selbst. Dabei wird mittels unterschiedlicher physikalischer Prinzipien ein Teil der Bewegungsenergie der Geberwelle in elektrische Energie gewandelt. Der Einsatz einer Batterie oder eines Getriebes ist dann nicht notwendig. Gemäß dem Stand der Technik finden in Drehgebern grundsätzlich drei verschiedene „Energy-Harvesting“-Technologien Anwendung, nämlich die oben erwähnten Wiegand-Drähte, das elektromagnetische „Energy-Harvesting“ sowie Hybridgeneratoren mit piezoelektrischen und elektromagnetischen „Energy-Harvestern“. Ein elektromagnetischer „Energy-Harvester“ ist beispielsweise in den Dokumenten DE 103 55 859 B3, DE 10 2004 055 626 B3, DE 10 2005 056 405 B3 und DE 101 25 059 A1 beschrieben.

[0013] Die Erfinder konnten folgende Nachteile im Stand der Technik feststellen:

Mehrstufige Getriebe:

- Abhängig von der mechanischen Belastung durch hohe Drehzahlen, äußere Stöße oder Vibrationen ist die Lebensdauer der mechanischen Getriebe stark begrenzt.
- Die Anzahl der Umdrehungen der am Markt verfügbaren Getriebe-MT-Drehgebern ist meist auf 12 Bit begrenzt. Durch den mechanischen Aufbau des Getriebes sind diese Systeme nur schwer zu miniaturisieren und relativ teuer.

Batteriegestütztes Verfahren:

- Durch den Einsatz von Batterien sind diese Systeme nur in einem stark begrenzten Temperaturbereich einsetzbar.
- Auch die Lebensdauer des Systems leidet unter der Abhängigkeit von der Batterie. Durch den Einsatz eines gepulsten Verfahrens kann die Lebensdauer jedoch verlängert werden.
- In explosionsfähigen Atmosphären sind batteriegestützte Systeme nicht uneingeschränkt einsetzbar.

Wiegand-Draht:

- Ein zusätzlicher Hall-Sensor ist notwendig, um die Absolutposition zu detektieren.
- Um ein störungsfreies Schalten des Wiegand-Drahts zu garantieren, sind meist weitere konstruktive Elemente erforderlich, wie z. B. magnetische Flussleitbleche.
- Trotz gleichbleibender Randbedingungen streuen die Ausgangskennwerte, wie z. B. Spannungsniveau und Energie des Wiegand-Impulses stark und sind nur schwer reproduzierbar.
- Die Menge der gewandelten Energie ist abhängig vom Schaltverhalten des Wiegand-Drahts. Optimierungsschritte sind kaum mehr möglich. Einfluss kann nur auf die Herstellungsparameter des Drahts selbst genommen werden.

Hybridgenerator mit piezoelektrischem und elektromagnetischem Energy-Harvester:

- Nachteilig beim Einsatz des kombinierten Energy-Harvesters ist der Einsatz zweier Technologien. Dies verursacht einen höheren Aufwand bei der Fertigung und Beschaffung und somit in direkter Folge auch höhere Kosten.
- Die mechanische Dauerfestigkeit des piezoelektrischen Materials muss untersucht werden. Eingesetzt wird hierfür eine Keramik aus z. B. Blei-Zirkonat-Zitanat. Große mechanische Belastungen können zu Rissen in der Keramik führen und den Wirkungsgrad verschlechtern.
- Neben den beiden mechanischen Aufbauten der Energy-Harvester muss dieses System mit zwei getrennten elektronischen Schnittstellenschaltungen

gen zur Energiespeicherung ausgestattet werden. Um stets das Maximum der verfügbaren Energie zu speichern, müssen diese an die jeweiligen Parameter des Energy-Harvesters angepasst werden.

[0014] Daher stellt sich die Aufgabe, die oben genannten Nachteile bestehender Systeme zu neutralisieren. Es ist wünschenswert im gesamten Bereich von möglichen Drehgeschwindigkeiten eine zuverlässige MT-Bewegungserfassung realisieren zu können. Bei energieautarken Technologien sollten stets ausreichend hohe Spannungsimpulse und eine ausreichende Energie erzeugt werden, um die Drehbewegungserkennung zu realisieren und die Information der Drehbewegung verlustfrei zu speichern. Dabei wäre es wünschenswert, jede Umdrehung ausnahmslos zu detektieren, insbesondere bei sehr langsamen wie auch bei sehr schnellen Bewegungen.

[0015] Diese Aufgabe wird gelöst durch einen energieautarken Multiturn-Drehgeber. Ein energieautarker Multiturn-Drehgeber ist batterie- und akkumulatorlos ausgebildet und versorgt sich selbst mit Energie, die der Drehgeber aus der Bewegung (translatorisch oder rotatorisch) des zu erfassenden Objekts gewinnt. Der Drehgeber weist auf: ein Gehäuse; ein mechanisch verformbares Schnappelement; eine Energiewandlungseinheit; sowie vorzugsweise einen Energiespeicher. Das Schnappelement ist mechanisch, vorzugsweise elastisch, verformbar und weist einen länglichen Körper auf, der sich im Wesentlichen entlang einer Längsrichtung erstreckt und mindestens zwei sich in der Längsrichtung gegenüberliegende gehäusefeste Enden aufweist. Die Enden bewegen sich somit relativ zum Gehäuse nicht. Dies bedeutet nicht, dass die Enden zwingend mit dem Gehäuse fest verbunden sein müssen. Die Enden können auch über weitere Komponenten des Drehgebers an das Gehäuse gekoppelt sein. Ein Schnappabschnitt liegt zwischen den Enden. Der Schnappabschnitt ist in sich gespannt. Der Schnappabschnitt bewegt sich vorzugsweise senkrecht zur Längsrichtung. Die Bewegung wird, vorzugsweise ausschließlich, durch ein äußeres Kraftfeld hervorgerufen. Das Schnappelement bzw. dessen Schnappabschnitt ist mittels mechanischer Verformung zwischen einer ersten stabilen Endstellung und einer zweiten Endstellung beweglich, wobei die zweite Endstellung stabil oder metastabil ist. Das Schnappelement ist eingerichtet, mit dem Kraftfeld so wechselzuwirken, dass sich der Schnappabschnitt aus der ersten Endstellung in die zweite Endstellung bewegt, wenn eine Stärke des Kraftfelds einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet. Die Energiewandlungseinheit ist eingerichtet und angeordnet, dass die mechanische Verformung des Schnappabschnitts zwischen den Endstellungen zumindest teilweise in elektrische Energie gewandelt wird. Der Energiespeicher ist mit der Energiewandlungseinheit verbunden.

[0016] Dieser Drehgeber ist unabhängig von der Bewegungsgeschwindigkeit des zu erfassenden Objekts einsetzbar. Der Drehgeber funktioniert sowohl bei langsamen als auch bei schnellen Geschwindigkeiten. Der Drehgeber hält hohen mechanischen Belastungen durch hohe Drehzahlen der Geberwelle Stand. Der Drehgeber kann äußere Stöße und Vibrationen kompensieren. Die Lebensdauer des Drehgebers ist groß. Der Drehgeber ist leicht zu miniaturisieren und günstig herstellbar.

[0017] Der Drehgeber kann in explosionsfähigen Atmosphären eingesetzt werden, weil er keine Batterie aufweist. Der Drehgeber kann in stark variierenden Temperaturbereichen betrieben werden, weil keine Batterie vorgesehen ist. Der Drehgeber hat eine große Lebensdauer, weil er unabhängig von einer Batterie ist.

[0018] Auf zusätzliche Hall-Sensoren zur Absolutpositionsbestimmung, wie z. B. bei Wiegand-Sensoren, kann verzichtet werden. Auch werden Flussleitelemente nicht zwingend benötigt, wie es bei Wiegand-Sensoren der Fall ist. Die gewonnenen Energien sind reproduzierbar und streuen minimal.

[0019] Der Drehgeber arbeitet energieautark. Die erzeugten Energien sind ausreichend groß, um die Drehbewegung zu erkennen und die Information der Drehbewegung verlustfrei abzuspeichern. Jede Umdrehung kann ausnahmslos detektiert werden. Dies gilt sowohl für langsame als auch für schnelle Bewegungen.

[0020] Vorzugsweise ist das Kraftfeld ein Magnetfeld, wobei die Feldquelle mindestens einen exzentrisch an der Geberwelle anbringbaren magnetischen Dipol, vorzugsweise einen Permanentmagneten, umfasst und wobei der Schnappabschnitt entweder aus einem magnetisierbaren Material besteht, mit dem magnetisierbaren Material beschichtet ist oder mit einem Schnappelement-Magneten verbunden ist.

[0021] Die Geberwelle lässt sich leicht mit einem felderzeugenden magnetischen Dipol verbinden. Das Magnetfeld erlaubt eine "Kommunikation" der Geberwelle mit dem Drehgeber auch über größere Entfernungen, so dass die Geberwelle nicht zwingend innerhalb des Drehgebergehäuses angeordnet sein muss. Es können mehrere felderzeugende magnetische Dipole an der Geberwelle angebracht werden, um die Auflösung und die Energieausbeute zu erhöhen. All dies ist ohne große technische Anstrengungen umsetzbar.

[0022] Weiter ist es von Vorteil, wenn die Feldquelle in einer Ebene bewegt wird, die im Wesentlichen parallel zur Längsrichtung bzw. Ebene des Schnappelements orientiert ist.

[0023] In diesem Fall kommt es zu den größten Feldänderungen, wenn die Feldquelle am Energiewandler vorbeigeführt wird.

[0024] Bei einer weiteren besonderen Ausgestaltung ist die Energiewandlungseinheit ein Induktionssystem, das eine Induktionsspule aufweist, die gegenüberliegend zum Schnappelement angeordnet ist, so dass sich ein Magnetfeld innerhalb der Induktionsspule signifikant ändert, wenn sich der Schnappabschnitt zwischen den Endstellungen bewegt. Signifikant bedeutet in diesem Zusammenhang, dass ein nennenswerter Spannungsimpuls induziert wird, der zur energieautarken Versorgung (z. B. Erfassung, Verarbeitung und Speicherung, etc.) des Drehgebers ausreicht.

[0025] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung weist das Induktionssystem ferner einen magnetischen Kreis auf, der ein Flussleitelement zur gezielten räumlichen Führung eines magnetischen Flusses aufweist, wobei sich das Flussleitelement durch die Induktionsspule erstreckt, wobei der magnetische Kreis in sich geschlossen ist, wenn sich der Schnappabschnitt in einer der Endstellungen befindet, und wobei der magnetische Kreis geöffnet ist, wenn sich der Schnappabschnitt in der anderen Endstellung befindet.

[0026] Das Schnappelement wird in dieser Konstellation ähnlich wie ein mechanischer Schalter eingesetzt, der einen Kreis öffnet und schließt. Ein weiterer Vorteil dieser Konstellation ist, dass das Schnappelement nicht mit einem zusätzlichen Magneten ausgerüstet werden muss, um die benötigte Spannung zu induzieren. Das Feld in der Induktionsspule muss in diesem Sinne nicht verstärkt werden. Allein das Öffnen und Schließen des Magnetkreises reicht aus, um die gewünschte große relative Feldstärkenänderung hervorzurufen.

[0027] Bei einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist auf einer der Feldquelle zugewandten oder abgewandten Seite des Schnappabschnitts ein Schnappelement-Permanentmagnet angebracht, wobei der Schnappelement-Permanentmagnet eine Dipolachse aufweist, die vorzugsweise im Wesentlichen parallel zu einer Spulenachse der Induktionsspule orientiert ist, und wobei der Schnappelement-Permanentmagnet vorzugsweise in einer der beiden Endstellungen zumindest teilweise in die Induktionsspule eintaucht.

[0028] Der Schnappelement-Permanentmagnet verstärkt das Feld innerhalb der Induktionsspule. Wenn der Schnappelement-Permanentmagnet auch in die Spule eintaucht und aus dieser wieder auftaucht, wird die relative Änderung der Feldstärke noch größer. Somit vereinfacht sich die Erzeugung der benötigten Induktionsspannung.

[0029] Auch ist es von Vorteil, wenn ein Rückhol-Magnet vorgesehen ist, der derart entfernt zum Schnappelement angeordnet ist, dass sich das Schnappelement aus der zweiten Endstellung in die erste Endstellung zurückbewegt, wenn die Stärke des Kraftfelds den vorgegebenen Schwellenwert wieder unterschreitet.

[0030] Der Rückhol-Magnet ermöglicht den Einsatz eines Schnappelements mit zwei stabilen Endstellungen. Ohne das Rückhol-Element würde das doppelt stabile Schnappelement nicht selbsttätig von der einen stabilen Endstellung in die andere stabile Endstellung zurückspringen.

[0031] Insbesondere weist die Energiewandlungseinheit mindestens ein Piezoelement auf, welches beim Schnappelement vorgesehen ist und welches durch die mechanische Verformung gestaucht oder gedehnt wird, woraus elektrische Energie erzeugbar ist.

[0032] Vorzugsweise stellt der Schnappabschnitt eine Platte eines Kondensators dar, der ein Teil der Energiewandlungseinheit ist oder mit der Platte des Kondensators verbunden ist.

[0033] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0034] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

[0035] Fig. 1 ein Blockdiagramm eines allgemeinen Drehgebers gemäß der Erfindung;

[0036] Fig. 2 Seitenansichten einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Drehgebers, wobei sich ein Schnappelement in einer ersten Endstellung (Fig. 2A) und in einer zweiten Endstellung (Fig. 2B) befindet;

[0037] Fig. 3 eine allgemeine schematische Darstellung eines Schnappelements;

[0038] Fig. 4 eine Sequenz von Zuständen des Drehgebers der Fig. 2 bei einer niedrigen Drehgeschwindigkeit (Fig. 4A) und bei einer hohen Drehgeschwindigkeit (Fig. 4B) einer Geberwelle;

[0039] Fig. 5 ein Spannungs-Zeit-Diagramm bei hoher Drehgeschwindigkeit (Fig. 5A), ein Spannungs-Zeitdiagramm zum Vergleich jeweils eines Spannungsimpulses bei hohen und niedrigen Drehgeschwindigkeiten (Fig. 5B) und Spannungsniveaus

an einem Speicherkondensator bei unterschiedlichen Drehgeschwindigkeiten (**Fig. 5C** und **Fig. 5D**);

[0040] **Fig. 6** eine zweite Ausführungsform eines Drehgebers;

[0041] **Fig. 7** eine dritte Ausführungsform eines Drehgebers; und

[0042] **Fig. 8** eine vierte Ausführungsform eines Drehgebers.

[0043] Ein "Kraftfeld" stellt ein Feld dar, das jedem Raumpunkt eine Feldstärke zuordnet. Diese Feldstärke bewirkt eine Kraft auf einen Probekörper, der sich in dem Kraftfeld befindet. Die Kraft hängt vom Ort r und Ladung q des Probekörpers bezüglich der betreffenden Wechselwirkung ab. In einem elektrischen Feld stellt q die elektrische Ladung des Probekörpers dar. In einem magnetischen Feld wird der Probekörper durch einen magnetischen Dipol repräsentiert. Magnetische Ladungen gibt es nicht. Die Kraft auf den Probekörper in dem Kraftfeld ist eine vektorielle Funktion des Orts ($F(r, q)$). Das Kraftfeld wird mit Hilfe von Feldlinien dargestellt.

[0044] Unter einem "magnetisierbaren Material" wird vorzugsweise ein weichmagnetischer Werkstoff verstanden. Weichmagnetische Werkstoffe sind ferromagnetische Materialien, die sich in einem Magnetfeld leicht magnetisieren lassen. Diese Magnetisierung kann z. B. durch einen elektrischen Strom in einer stromdurchflossenen Spule oder durch Anwesenheit eines Permanentmagneten erzeugt werden. Die Magnetisierung bzw. Polarisierung führt im Werkstoff zu einer vielfach höheren magnetischen Flussdichte, als sie das von außen wirkende magnetische Feld in Luft erzeugen kann. Das weichmagnetische Material verstärkt das äußere Magnetfeld, um die Werkstoffpermeabilität.

[0045] "Schnappscheiben" bzw. „Schnappelemente“ stellen federelastische Elemente dar. Schnappscheiben bzw. -elemente können beispielsweise aus Federstahl hergestellt werden. Schnappscheiben bzw. -elemente weisen eine flächige Ausdehnung auf, die sich entlang einer Längsrichtung erstreckt. In der vorliegenden Beschreibung ist der Begriff "Scheibe" breit zu verstehen und nicht auf kreisförmige Elemente beschränkt. In der vorliegenden Beschreibung kann eine Schnappscheibe bzw. -element beispielsweise auch durch einen (rechteckigen) Streifen aus Federstahl oder aus einem anderen Material realisiert sein. Die Schnappscheiben/-elemente sind so geprägt bzw. vorgespannt, dass sie einen ersten stabilen Zustand und einen zweiten Zustand bzw. eine erste stabile Endstellung und eine zweite Endstellung aufweisen. In diesen Endstellungen weist die Fläche eine Wölbung auf die senkrecht zur Längsrichtung orientiert ist. Durch eine äußere Krafteinwirkung wer-

den die Schnappscheiben/-elemente verbogen bzw. verformt, bis sie plötzlich aus dem stabilen ersten Zustand in den zweiten, vorzugsweise metastabilen, Zustand umspringen. Sobald die äußere Kraft wieder nachlässt, springen metastabile Scheiben selbständig in den ersten Zustand bzw. in die erste Endstellung zurück.

[0046] Ein "Piezoelement" ist ein Bauteil, das den Piezoeffekt ausnutzt. Beim Einwirken einer mechanischen Kraft auf das Piezoelement wird eine elektrische Spannung erzeugt. Durch den mechanischen Druck verändert sich die elektrische Polarisierung im Piezoelement.

[0047] **Fig. 1** zeigt ein Blockdiagramm, das die allgemeine Funktionsweise eines energieautarken Drehgebers **10** zeigt, der nach dem „Energy-Harvesting“-Prinzip arbeitet. Dies bedeutet, dass der Drehgeber **10** die zur Erfassung einer Umdrehung bzw. einer Umdrehungszählung benötigte Energie selbst erzeugt und somit ohne einen Akku oder eine Batterie auskommt. Der Drehgeber **10** umfasst ein Schnappelement **12**, z. B. eine Schnappscheibe **36**, die oben bereits erläutert wurde und die nachfolgend unter Bezugnahme auf **Fig. 2** noch näher erläutert werden wird. Ferner weist der Drehgeber **10** einen Energiewandler bzw. eine Energiewandlungseinheit **14** auf, der bzw. die mit einem Energiespeicher **16** verbunden sein kann. Der Drehgeber **10** weist auch ein Gehäuse **18** auf, das so ausgebildet ist, dass eine Feldquelle **20** über ein Kraftfeld **30**, wie es allgemein oben beschrieben ist, mit dem Schnappelement **12** Wechselwirken kann. Die Feldquelle **20** kann z. B. durch einen Permanentmagneten **22** realisiert sein, der an einer Geberwelle **24** angebracht ist, um eine Drehbewegung **28** um eine Drehachse **26** der Geberwelle **24** zu erfassen. Die Feldquelle **20** kann aber auch durch eine Kondensatorplatte (elektrische Ladung) oder eine andere Quelle realisiert sein, die einen Ausgangspunkt für das Kraftfeld **30** darstellt.

[0048] Im nachfolgenden wird ausschließlich die Verwendung des Permanentmagneten **22** als Signalgeber bzw. Feldquelle **20** beschrieben werden, wobei dies nicht einschränkend zu verstehen ist. Das nachfolgend Gesagte gilt analog für elektrische Ladungen und Felder.

[0049] Der Permanentmagnet **22** ist vorzugsweise exzentrisch zur Drehachse **26** an der Geberwelle **24** angebracht. Der Permanentmagnet **22** kann an einer Stirnseite **24'** der Geberwelle **24** angebracht sein, die dem Schnappelement **12** gegenüberliegend angeordnet ist, wie es unter Bezugnahme auf **Fig. 2** noch näher erläutert werden wird. Alternativ und/oder ergänzend kann der Magnet auch an einer Seitenwand der Welle oder an einer zusätzlichen Scheibe angebracht sein. Nachfolgend wird exemplarisch eine Befestigung ausschließlich an der Stirnseite **24'**

betrachtet werden. Die Feldquelle **20** kann optional Teil des Drehgebers **10** sein. Der Drehgeber **10** muss die Feldquelle **20** aber nicht mit umfassen. Die Feldquelle **20** kann innerhalb oder außerhalb des Gehäuses **18** angeordnet werden.

[0050] Der Drehgeber **10** kann ferner eine Auswerteeinheit **32** aufweisen, wie z. B. ein ASIC oder einen Mikrocontroller bzw. -prozessor, der zur Auswertung von Signalen zur Umdrehungserfassung und -zählung eingerichtet ist. Die Signale können von weiteren Sensoren, wie z. B. Hallensoren oder anderen Sensoren geliefert werden, die in der **Fig. 1** nicht gezeigt sind. Die Auswerteeinheit **32** weist ferner vorzugsweise einen (nichtflüchtigen) Datenspeicher **34** auf. Es wird jedoch betont, dass der Drehgeber **10** die Umdrehungszählung ohne eine externe Energieversorgung bewerkstelligt.

[0051] Um die benötigte Energie zum Betrieb des Drehgebers **10** und die nötigen Spannungsimpulse zur Dreherkennung zu generieren, kann z. B. auf das Prinzip der elektromagnetischen Induktion zurückgegriffen werden, wie es unter Bezugnahme auf **Fig. 2** noch näher erläutert werden wird. Gemäß dem Faradayschen Induktionsgesetz entsteht ein elektrisches Feld durch eine zeitliche Änderung einer magnetischen Flussdichte in einer Leiterschleife. Die induzierte Spannung ergibt sich mit dem magnetischen Fluss Φ , der magnetischen Flussdichte B und der vom Magnetfeld durchdrungenen Fläche A zu:

$$U = \frac{-d\Phi}{dt} = \frac{d}{dt} \int B dA \quad (\text{Gleichung 1})$$

[0052] Wird ein Magnet relativ zu einer Drahtschleife bewegt, so ändert sich die magnetische Flussdichte Φ in der von der Drahtschleife umschlossenen Fläche A und eine elektrische Spannung U wird in der Drahtschleife induziert. Schließt man einen elektrischen Verbraucher an die Drahtschleife an, so kann die generierte Energie genutzt werden. Aus der Gleichung 1 ergibt sich die generierbare Spannung U in Abhängigkeit von der zeitlichen Änderung des magnetischen Flusses Φ . Das bedeutet, dass je schneller die Änderung des magnetischen Flusses vonstatten geht, desto höher ist die in der Spule induzierte Spannung.

[0053] Basierend auf dieser Erkenntnis haben die Erfinder ein elektromagnetisches System (Drehgeber **10**) entwickelt, das auf eine schnelle Änderung eines magnetischen Flusses ausgelegt ist. Es basiert auf der Grundidee einer schlagartigen Umschaltung des magnetischen Flusses in einer Leiterschleife. Dieses Umschalten springt dabei schnell zwischen zwei Grundzuständen hin und her.

[0054] Ein möglicher Aufbau des Drehgebers **10** ist in der **Fig. 2** dargestellt. Die **Fig. 2** zeigt Seitenansichten einer ersten Ausführungsform des Drehgebers **10**

der **Fig. 1**, wobei sich das Schnappelement **12** in einer ersten Endstellung P1 (**Fig. 2A**) oder in einer zweiten Endstellung P2 (**Fig. 2B**) befinden kann. Für die nachfolgende Beschreibung wird davon ausgegangen, dass die erste Endstellung P1 des Schnappelements **12** einen stabilen Zustand darstellt, wohingegen die zweite Endstellung P2 des Schnappelements **12** vorzugsweise einen metastabilen Zustand darstellt.

[0055] Die Energiewandlungseinheit **14** ist in der **Fig. 2** als Induktionssystem **40** mit einer Induktionsspule **42** implementiert. Die Induktionsspule **42** kann auf einer Leiterplatte **35** angeordnet sein, die z. B. auch die Auswerteeinheit **32** (vergleiche **Fig. 1**) trägt. Die Leiterplatte **35** ist fest mit dem Gehäuse ("gehäusesfest") **18** verbunden. Dies bedeutet, dass die Leiterplatte **35** nicht relativ zum Gehäuse **18** beweglich ist, auch nicht im Falle einer äußeren oder inneren Krafteinwirkung. Die Leiterplatte **35** erstreckt sich entlang einer Ebene E2, die in der **Fig. 2** durch eine Strichlinie angedeutet ist. Die Ebene E2 steht senkrecht auf der Zeichnungsebene der **Fig. 2**. Die Ebene E2 ist im Wesentlichen parallel zu einer Ebene E1 orientiert, die in der **Fig. 2** ebenfalls durch eine Strichlinie angedeutet ist und entlang der sich der Permanentmagnet **22** (vergleiche **Fig. 1**) in Richtung des Pfeils **28** (Drehrichtung der Geberwelle **24** um die Drehachse **26**) bewegt. In den nachfolgenden Figuren wird dieser Permanentmagnet **22**, der an einer Stirnfläche **24'** der Geberwelle **24** angebracht ist, auch als Magnet M1 bezeichnet. Eine Dipolachse **46** des Magneten M1 ist vorzugsweise parallel zu der Drehachse **26** orientiert. Die Drehachse **26** ist vorzugsweise parallel zu einer Spulenachse **44** orientiert, so dass sowohl die Drehachse **26** als auch die Spulenachse **44** vorzugsweise senkrecht auf den Ebenen E1 und E2 stehen.

[0056] Bei der ersten Ausführungsform des Drehgebers **10** gemäß der **Fig. 2** ist das Schnappelement **12** durch eine (flächige) Schnappscheibe **36** (z. B. Membran) implementiert, deren Körper sich im Wesentlichen entlang einer Längsrichtung **37** bzw. einer Ebene E2 erstreckt, die Senkrecht zur Zeichnungsebene orientiert ist. Dies bedeutet mit anderen Worten, dass der Körper des Schnappelements **12** sich grundsätzlich entlang der Ebene E2 erstreckt. Die Schnappscheibe **36** ist jedoch aufgrund ihrer Vorspannung bzw. Prägung leicht gegenüber der Ebene E2 nach oben oder unten gewölbt. In der **Fig. 2A** ist die Schnappscheibe **36** leicht nach unten gegenüber der Ebene E2 gewölbt.

[0057] Wenn die Feldquelle **20**, wie oben erwähnt, durch einen Magneten bzw. durch den Permanentmagneten **22** bzw. M1 implementiert ist, ist das Schnappelement **12** entweder aus einem magnetisierbaren Material **52** (**Fig. 3**) hergestellt, mit einem magnetisierbaren Material **52** beschichtet und/oder mit einem weiteren Magneten **38** versehen, der auch

mit "M2" bezeichnet werden wird. Bei der ersten Ausführungsform gemäß der **Fig. 2** ist der Magnet M2 auf einer Seite der Schnappscheibe **36** angeordnet, die der Geberwelle **24** zugewandt ist. Der Magnet M2 bzw. dessen Dipolachse ist vorzugsweise konzentrisch zur Spulenachse **44** ausgerichtet und so dimensioniert, dass der Magnet M2 in einen nicht näher bezeichneten Innenraum der Induktionsspule **42** eintauchen kann, wie es unter Bezugnahme auf **Fig. 2B** noch näher beschrieben werden wird. Alternativ könnte der Magnet M2 sich auf die Induktionsspule **42** zu bewegen oder sich von der Spule **42** weg bewegen.

[0058] Die **Fig. 2B** zeigt den Drehgeber **10** der **Fig. 2A** zu einem späteren Zeitpunkt, nämlich dann, wenn sich der Magnet M1 mit der Geberwelle **24** entlang der Bewegungsrichtung **28** genau über die Induktionsspule **42** bewegt hat. Die Dipolachse **46** und die Spulenachse **44** sind dann parallel zueinander, vorzugsweise konzentrisch, orientiert. Die Schnappscheibe **36** hat sich aus ihrer ersten stabilen Endstellung P1 in Richtung der Geberwelle **24** in ihre zweite Endstellung P2 mittels mechanischer elastischer Verformung bewegt, weil die Kraft FM des Magnetfelds **48** größer als eine Haltekraft FH ist, die der Schnappscheibe **36** inhärent ist. In der **Fig. 2B** ist deutlich zu erkennen, dass die Schnappscheibe **36** gegenüber der Ebene E2 nach oben gewölbt ist. Die Schnappscheibe **36** springt schlagartig aus ihrer ersten Endstellung P1 (**Fig. 2A**) in ihre zweite Endstellung P2 (**Fig. 2B**), sobald die Kraft des Magnetfelds **48** größer als die Haltekraft FH wird. In der **Fig. 2B** ist das Magnetfeld **48** in Form von Magnetfeldlinien **50** angedeutet. Es versteht sich, dass das Magnetfeld **48** bereits vor dem in der **Fig. 2B** gezeigten Zustand so groß werden kann, dass die Haltekraft FH überwunden ist. Dies bedeutet mit anderen Worten, dass die Schnappscheibe **36** zeitlich bereits vor dem in der **Fig. 2B** gezeigten Zustand in die zweite Endstellung P2 springen kann. Dies hängt allein von der Größe der Haltekraft FH sowie der Stärke des Magnetfelds **48** ab. In dem in der **Fig. 2B** gezeigten Zustand ist das Magnetfeld **48** am größten, welches auf die Schnappscheibe **36** bzw. den Magneten M2 wirkt.

[0059] Wenn sich die Geberwelle **24** bzw. der Magnet M1 weiter in der Richtung **28** bewegen, so dass sich der Magnet M1 in der **Fig. 2** weiter nach rechts bewegt, nimmt das Magnetfeld **48** wieder ab. Sobald die Stärke des Magnetfelds **48** nicht mehr ausreicht, um die Haltekraft FH zu kompensieren, springt die Schnappscheibe **36** in die erste Endstellung P1 zurück.

[0060] In beiden Fällen wird in der Induktionsspule **42** ein Induktionsspannungsimpuls erzeugt, wie es unter Bezugnahme auf die **Fig. 4** noch näher erläutert werden wird.

[0061] Es versteht sich, dass die in der **Fig. 2B** gezeigte zweite Endstellung P2 einen metastabilen Zustand der Schnappscheibe **36** darstellt. Unter Bezugnahme auf **Fig. 6** wird der gleiche Vorgang unter Verwendung einer stabilen Schnappscheibe **36** erklärt werden.

[0062] Eine stabile Schnappscheibe **36** zeichnet sich dadurch aus, dass sowohl die erste Endstellung P1 als auch die zweite Endstellung P2 beide stabil sind.

[0063] Die Schnappscheibe **36** besitzt also vorzugsweise eine stabile erste Endposition und eine semistabile bzw. metastabile zweite Endposition P2. Aufgrund ihrer Form (Wölbung) und/oder der mechanischen Einspannung wirkt die Haltekraft FH, die die Schnappscheibe **36** in der ersten Endposition P1 hält. Der auf der Schnappscheibe **36** angeordnete Magnet **38** bzw. M2 ist so orientiert, dass er, sobald sich ihm der Magnet M1 nähert, von diesem angezogen wird und die Kraft FM durch das Magnetfeld **48** auf die Schnappscheibe **36** wirkt. Die Kraft FM ist entgegengesetzt zur Kraft FH gerichtet. Sobald die Kraft FM des Magnetfelds **48** größer ist als die Haltekraft FH ist, springt die Schnappscheibe **36** schlagartig in die zweite Endstellung P2 um und verharnt dort solange, bis die Kraft FM des Magnetfelds **48** im Zuge der weiteren Bewegung **28** des Magneten M1 wieder kleiner als die Haltekraft FH ist. Die Schnappscheibe **36** springt dann wieder schlagartig in die erste Endstellung P1 zurück, wie bereits oben erwähnt.

[0064] In Abhängigkeit von dem verfügbaren Bau- und konstruktiven Gestaltungsvorgaben kann statt der anziehenden magnetischen Kraft auch ein Abstoßen für den Umschaltvorgang genutzt werden. In diesem Fall wäre die Schnappscheibe **36** in ihrer ersten Endstellung P1 nach oben gewölbt (nicht gezeigt) und der Magnet M2 umgekehrt orientiert (d. h. Nordpol N unten und Südpol S oben).

[0065] Generell gilt, dass aufgrund der besonderen Anordnung des Magneten M2 und der Induktionsspule **42** zwischen den beiden Endstellungen P1 und P2 der Schnappscheibe **36** eine Differenz der magnetischen Flussdichte im Inneren der Induktionsspule **42** besteht. Durch das schlagartige Umschalten zwischen den Endstellungen P1 und P2 der Schnappscheibe **36** wird entsprechend Gleichung 1 eine hohe Spannung in der Induktionsspule **42** induziert. Wenn die Schnappscheibe **36** wieder aus der zweiten Endstellung P2 in die erste Endstellung P1 zurückspringt, wird ebenfalls ein Spannungsimpuls in der Spule **42** induziert, jedoch mit umgekehrten Vorzeichen, wie es unter Bezugnahme auf **Fig. 4** noch näher erläutert werden wird.

[0066] Die Schnappscheibe **36** der ersten Ausführungsform gemäß der **Fig. 2** ist an einer nicht näher

bezeichneten Öffnung an einer Unterseite der Leiterplatte **35** fest angebracht. Der Magnet M2 ist auf einer Oberseite der Schnappscheibe **36** angebracht. Es versteht sich, dass der Magnet M2 bei gleichbleibender Dipolachsenorientierung auch auf der Unterseite der Schnappscheibe **36** angeordnet sein könnte. Die Anordnung des Magneten M2 auf der Oberseite der Schnappscheibe **36** ist bevorzugt, weil der Magnet M2 in der zweiten Endstellung P2 in das Innere der Spule **42** eintaucht. Somit wird die relative Änderung der Magnetflussdichte noch größer. Dies wiederum bewirkt, dass der induzierte Spannungsimpuls noch größer wird.

[0067] Ferner versteht es sich, dass die Schnappscheibe **36** auch auf der Oberseite der Leiterplatte **35** angeordnet sein könnte. Der Magnet M2 könnte dann in der ersten Endstellung P1 der Schnappscheibe **36** z. B. vollständig innerhalb der Spule **42** angeordnet sein. In der zweiten Endstellung P2 könnte der Magnet M2 aus dem Inneren der Spule **42** auftauchen, ohne dass es zu nennenswerten Signaleinbußen käme. Die relative Anordnung der am Induktionsvorgang beteiligten Komponenten M1, M2, **36** und **42** wird üblicherweise durch den zur Verfügung stehenden Bauraum vorgegeben. Dieser Bauraum ist typischerweise sehr beschränkt, so dass platzsparende Anordnungen bevorzugt sind. Wenn der Abstand zwischen der Stirnseite **24'** der Geberwelle **24** und der Oberseite der Leiterplatte **35** geringer als der in der **Fig. 2** gezeigte ist, kann die Induktionsspule **42** z. B. auch auf der Unterseite der Leiterplatte **35** angeordnet werden.

[0068] Ferner versteht es sich, dass die Funktionsweise des Drehgebers **10** unabhängig von der Orientierung der Bewegungsrichtung **28** der Geberwelle **24** ist. In der **Fig. 2** bewegt sich die Geberwelle **24** bzw. der Magnet M1 von links nach rechts. Es ist klar, dass sich der Magnet M1 aber auch von rechts nach links bewegen könnte, wobei man qualitativ genau das gleiche Ergebnis erzielen würde.

[0069] Unter Bezugnahme auf **Fig. 3** wird nachfolgend das Schnappelement **12** des Drehgebers **10** isoliert näher betrachtet werden. Die hier im Zusammenhang mit der **Fig. 3** getroffenen Aussagen sind allgemein gültig und gelten somit für alle Ausführungsformen des Drehgebers **10**.

[0070] Das Schnappelement **12** der **Fig. 3** ist wiederum als Schnappscheibe **36** implementiert. Das Schnappelement **12** weist einen Körper **51** auf, der sich im Wesentlichen entlang der Längsrichtung **37** bzw. der Ebene E2 erstreckt. Der Körper **51** kann zumindest teilweise mit einem, vorzugsweise weichmagnetischen, Material **52** beschichtet sein, wie es in der **Fig. 3** durch eine Strichlinie angedeutet ist. Der Körper **51** ist mit seinen mindestens zwei Enden **54-1** und **54-2** fest mit dem Gehäuse **18** verbunden. Die

Enden **54-1** und **54-2** liegen sich in der Längsrichtung **37** gegenüber. Es versteht sich, dass die Enden **54-1** und **54-2** nicht direkt mit dem Gehäuse **18** verbunden sein müssen, sondern auch über weitere Elemente an das Gehäuse **18** gekoppelt sein können, wie es in der **Fig. 2** gezeigt ist, wo die Kopplung über die Leiterplatte **35** erfolgt. Zwischen den Enden **54-1** und **54-2** erstreckt sich ein sogenannter Schnappabschnitt **56**. Ferner versteht es sich, dass der Körper **51** an mehr als zwei Punkten gehäusefest verbunden sein kann. Dies hängt insbesondere von der Geometrie des Körpers **51** ab. Der Schnappabschnitt **56** stellt den Teil des Schnappelements **12** dar, der sich zwischen den beiden Endstellungen P1 und P2 mechanisch verformt. Es ist möglich, dass sich das Schnappelement **12** nicht über seine gesamte Länge verformt, wie es beispielsweise in **Fig. 7** gezeigt ist. Der Schnappabschnitt **56** bewegt sich im Wesentlichen entlang einer Auslenkungsrichtung A, die quer, vorzugsweise senkrecht, zur Längsrichtung **37** orientiert ist. Wie bereits zuvor erwähnt, springt der Schnappabschnitt **56** aus der ersten Endstellung P1 in die zweite Endstellung P2, wenn eine von außen wirkende Kraft FA größer oder gleich einer Schwellenkraft FS ist, wobei die Schwellenkraft FS durch die negative Haltekraft FH gegeben ist.

[0071] Ergänzend oder alternativ zur Beschichtung mit dem weichmagnetischen Material **52** kann das Schnappelement **12** selbst aus einem Material hergestellt sein, welches mit dem Kraftfeld **30** (**Fig. 1**) wechselwirkt. Wenn das Kraftfeld **30** von einem magnetischen Dipol, wie z. B. dem Magneten M1, hervorgerufen wird, wird das Schnappelement **12** aus einem magnetisierbaren Material hergestellt. Wenn das Kraftfeld **30** durch eine elektrische Ladung (nicht gezeigt und nicht beschrieben) hervorgerufen wird, wird das Schnappelement **12** vorzugsweise aus einem elektrisch leitenden Material hergestellt.

[0072] Bezug nehmend auf **Fig. 4** wird nachfolgend erläutert werden, wie sich die induzierten Spannungsimpulse bei langsamen Geschwindigkeiten (**Fig. 4A**) und schnellen Geschwindigkeiten (**Fig. 4B**) verhalten. Die **Fig. 4** zeigt die erste Ausführungsform des Drehgebers **10** gemäß der **Fig. 2** im Einsatz.

[0073] Die **Fig. 4A** zeigt den Drehgeber zu drei unterschiedlichen aufeinander folgenden Zeiten bei einer langsamen Geschwindigkeit (z. B. 1 U/min). Unterhalb der drei gezeigten Zustände ist ein zeitlicher Verlauf der induzierten Spannung U schematisiert dargestellt. Der Magnet M1 bewegt sich von links nach rechts, wie es durch die Drehbewegung **28** angedeutet ist. Der Magnet M1 nähert sich zuerst der Induktionsspule **42**. Das Schnappelement **12** befindet sich dabei in der ersten Endstellung P1. Noch wurde keine Spannung induziert. Sobald sich der Magnet M1 dem Magnet M2 ausreichend genähert hat, wie

es im mittleren Bild der **Fig. 4A** gezeigt ist, springt das Schnappelement **12** in seine zweite Endstellung P2 um, wodurch ein (positiver) Spannungsimpuls in der Induktionsspule **42** induziert wird. Danach fällt die Spannung wieder auf Null ab, weil sich der magnetische Fluss in der Spule **42** solange nicht mehr ändert, bis sich der Magnet **2** aufgrund seiner vorzugsweise kontinuierlichen Bewegung soweit vom Magneten M2 entfernt hat, dass das (metastabile) Schnappelement **12** wieder in seine erste Endstellung P1 zurückspringt, wie es in der **Fig. 4A** ganz rechts gezeigt ist. Das Zurückspringen induziert wiederum einen (negativen) Spannungsimpuls, jedoch mit einem umgekehrten Vorzeichen.

[0074] Die **Fig. 4B** zeigt die gleiche Anordnung wie die **Fig. 4A**, jedoch bei einer sehr viel höheren Geschwindigkeit, nämlich bei z. B. 300 U/min. Die Geschwindigkeit des Magneten M1 ist dann so hoch, dass das Schnappelement **12** aufgrund von Trägheit gar nicht mehr zwischen den Endstellungen P1 und P2 springt. Dennoch wird eine Spannung induziert, da sich der magnetische Fluss innerhalb der Induktionsspule **42** ständig ändert. Der Magnet M2 trägt also aufgrund der Trägheit des Schnappelements **12** nichts zur Änderung des magnetischen Flusses in der Spule **42** bei. Dennoch wird durch die hohe Geschwindigkeit des vorbeieilenden Magneten M1 der magnetische Fluss in der Spule **42** derart schnell variiert, dass in der Spule **42** eine Spannung U gemäß der **Abb. 4B** induziert wird.

[0075] Es versteht sich, dass die Amplitude des induzierten Spannungsimpulses durch eine Relativpositionierung (XYZ) der Komponenten M1, M2 und der Induktionsspule **42** beeinflusst werden kann. Es können unterschiedliche Spulen (mit z. B. unterschiedlichen Wicklungsanzahlen) **42** eingesetzt werden. Es können unterschiedliche Schnappscheiben **36** eingesetzt werden. Die Schnappscheiben **36** können z. B. von der Firma Snaptron bezogen werden. Die Spule **42** kann z. B. einen Innenwiderstand von 2,6 k Ω bei einem Drahtquerschnitt von z. B. 50 μ m aufweisen.

[0076] Die **Fig. 5** zeigt ein exemplarisches Ergebnis von Spannungsmessungen bei Umdrehungsgeschwindigkeiten von 1 U/min bzw. 300 U/min. Das Spannungs-Zeit-Diagramm der **Fig. 5A** zeigt die aufeinanderfolgenden Spannungsimpulse bei einer Rotationsgeschwindigkeit von 300 U/min. Das Spannungs-Zeit-Diagramm der **Fig. 5B** zeigt einen Vergleich der induzierten Spannungen bei einer Rotationsgeschwindigkeit von 300 U/min und 1 U/min. Bei einer (Rotations-)Geschwindigkeit von 1 U/min wird ein Spannungsimpuls von 17 V induziert. Bei einer Geschwindigkeit von 300 U/min wird ein Spannungsimpuls von 25 V induziert. Dies bedeutet, dass eine Höhe der Spannungsimpulse in Abhängigkeit von der Drehgeschwindigkeit variiert. Jedoch sind die Span-

nungsimpulse für jede einzelne Geschwindigkeit konstant und reproduzierbar.

[0077] Um die durch die Spannungsimpulse generierte Energie zu speichern und einem Verbraucher (siehe z. B. Auswerteeinheit **32** in **Fig. 1**) zuführen zu können, kann z. B. ein Vollbrückengleichrichter verwendet werden, der exemplarisch vier Scotty-Dioden und einen Speicherkondensator (5,6 nF) aufweist und an die Spule **42** angeschlossen ist. Eine so gespeicherte Energie kann dann einem nachgeschalteten Verbraucher zur Verfügung gestellt werden.

[0078] Die **Fig. 5C** und **Fig. 5D** zeigen das Ergebnis einer exemplarischen Messung einer Spannung am Speicherkondensator (5,6 nF), wobei die Bedingungen im Vergleich zu den **Fig. 5A** und **Fig. 5B** gleich gehalten wurden. Bei einer Geschwindigkeit von 1 U/min beträgt die gespeicherte Energie 716 nJ. Bei einer Geschwindigkeit von 300 U/min beträgt die gespeicherte Energie 1,68 μ J. Mit einem eingangs erwähnten Wiegand-Draht können unter gleichen Versuchsbedingungen maximale bis 200 nJ gespeichert werden. Somit ermöglicht die vorliegenden Erfindung, zumindest bei langsamen Umdrehungsgeschwindigkeiten, eine Steigerung der verfügbaren Energie um den Faktor 3 bis 4. Noch gravierender ist der Effekt bei hohen Umdrehungsgeschwindigkeiten. Hier können Steigerungen um den Faktor 6 bis 9 erreicht werden.

[0079] Somit kann man generell zwei Fälle unterscheiden, nämlich erstens ein Umspringen zwischen den beiden Endstellungen P1 und P2 bei relativ geringen Umdrehungsgeschwindigkeiten und zweitens kein Umspringen mehr aufgrund einer relativen hohen Umdrehungsgeschwindigkeit. Bei der hohen Geschwindigkeit kann das Schnappelement wegen seiner Trägheit nicht mehr folgen. Die Trägheit hängt z. B. von der Steifigkeit des Schnappelements und der Haltekraft FH ab. Generell existieren auch Übergangsbereiche, bei denen beide Effekte zum Tragen kommen. Diese werden hier nicht näher betrachtet.

[0080] **Fig. 6** zeigt eine zweite Ausführungsform des Drehgebers **10**, der ähnlich wie die erste Ausführungsform der **Fig. 2** aufgebaut ist. Der Drehgeber **10** der **Fig. 6** unterscheidet sich vom Drehgeber **10** der **Fig. 2** dadurch, dass das Schnappelement **12** in beiden Endstellung P1 und P2 stabil ist. Dies bedeutet, dass das Schnappelement **12** nicht selbsttätig aus der zweiten Endstellung P2 wieder in die erste Endstellung P1 zurückspringt. Um dennoch ein Zurückspringen zu erreichen, wird ein zusätzlicher (stationärer) Magnet M3 gegenüberliegend zu den Magneten M1 und M2 angeordnet. Der Magnet M3 hält den Magneten M2 vorerst in der ersten Endstellung P1, wie es in **Fig. 6A** gezeigt ist. Nähert sich der Magnet M1 dem Magneten M2 aufgrund der Bewegung **28** und ist das Magnetfeld des Magneten M1 ausreichend stark,

springt der Magnet M2 in die in der **Fig. 6B** gezeigte Stellung. Das Schnappelement **12** springt dabei in seine zweite Endstellung P2. Die (hier nicht gezeigte) Haltekraft FH des Schnappelements **12** ist hierbei um die Kraft größer, die der Magnet M3 auf den Magnet M2 ausübt. Der Magnet M3 stellt somit einen Rückhol-Magnet dar.

[0081] Wenn sich der Magnet M1 im Vergleich zu dem Zustand, wie er in der **Fig. 6B** gezeigt ist, weiter nach rechts bewegt, sorgt der Magnet M3 dafür, dass das Schnappelement **12** aus seiner zweiten (stabilen) Endstellung P2 wieder in die erste Endstellung P1 (vergleiche **Fig. 6A**) zurückspringt.

[0082] Generell versteht es sich, dass der Magnet M2 nicht zwingend benötigt wird. Die beschriebenen Effekte stellen sich z. B. auch dann ein, wenn das Schnappelement **12**, wie oben beschrieben, aus einem beispielsweise weichmagnetischen Material besteht.

[0083] Alternativ könnte der Magnet M3 auch an der Stirnseite **24'** befestigt sein, wobei er umgekehrt zum Magneten M1 magnetisiert ist und dem Magneten M1 in Bezug auf die Bewegung **28** nachfolgt, um die Rückstellung des Schnappelements **12** bzw. des Magneten M2 in **Fig. 6** zu bewirken.

[0084] Des Weiteren können Elemente zur optimierten räumlichen Führung des magnetischen Flusses eingesetzt werden, wie es exemplarisch unter Bezugnahme auf **Fig. 7** gezeigt ist. Der magnetische Fluss ist in der **Fig. 7** exemplarisch mit einer strichpunkttierten Linie **60** angedeutet. Die **Fig. 7** zeigt eine dritte Ausführungsform des Drehgebers **10**.

[0085] Bei der dritten Ausführungsform gemäß der **Fig. 7** ist das vorzugsweise metastabile Schnappelement **12** wiederum gehäusefest verspannt. Das Induktionssystem **40** weist neben der Induktionsspule **42** ein Flussleitelement **62** auf, welches der räumlichen Führung des magnetischen Flusses **60** dient. Optional kann auch der Magnet M2 Teil des Flussleitelements **62** sein.

[0086] Das Schnappelement **12** ist in der **Fig. 7** in seiner ersten Endstellung P1 gezeigt. In der ersten Endstellung P1 berührt der Schnappabschnitt **56** ein (hier nicht näher bezeichnetes) freies Ende des Flussleitelements **62**. Das zweite Ende **54-2** des Schnappelements **12** steht, vorzugsweise permanent, in Kontakt mit dem zweiten (hier nicht näher bezeichneten) freien Ende des Flussleitelements **62**. Das Schnappelement **12** bewirkt in seiner Endstellung P1, dass ein magnetischer Kreis **64** in sich geschlossen ist. In seiner Endstellung P2 öffnet das Schnappelement **12** den Magnetkreis **64**, so dass es wiederum zu einer schlagartigen Änderung des magnetischen Flusses **60** in der Induktionsspule **42**

kommt, was sich in Form eines induzierten Spannungsimpulses äußert.

[0087] Die **Fig. 7** zeigt, dass die Induktionsspule **42** mittels eines Flussleitelements **62** entfernt zum Schnappelement **12** angeordnet werden kann, wenn es z. B. aufgrund eines sehr geringen vorhandenen Bauraums erforderlich ist.

[0088] Ferner versteht es sich, dass das Schnappelement **12** und die Spule **42** nicht zwingend diametral zueinander angeordnet sein müssen, wie es in den **Fig. 2**, **Fig. 4**, und **Fig. 6** gezeigt ist. Möglich sind auch Anordnungen, bei denen der Magnet M2 sich nicht entlang der Spulenachse **44** bewegt, sondern quer dazu bewegt wird.

[0089] **Fig. 8** zeigt eine weitere Ausführungsform des Drehgebers **10**. **Fig. 8** zeigt eine kapazitive Ausführung, wobei das Schnappelement **12** mit einer Kondensatorplatte C2 verbunden ist, die sich mit dem Schnappelement **12** zwischen den Endpositionen P1 und P2 bewegt. Die Kondensatorplatte C1 ist stationär angeordnet, so dass es zu einer Änderung der Kapazität kommt, wenn sich die zweite Kondensatorplatte C2 mit dem Schnappelement **12** bewegt.

[0090] Eine weitere Ausführungsform des Drehgebers **10** verwendet ein Piezoelement. Bei dieser (nicht gezeigten) piezoelektrischen Ausführungsform ist zumindest der Schnappabschnitt **56** des Schnappelements **12** zumindest teilweise mit einem Piezoelement verbunden, das sich im Wesentlichen entlang des Schnappabschnitts **56** vorzugsweise in Form einer Beschichtung (vergleiche **Fig. 3**) erstreckt. Diese Beschichtung kann auf einer oder beiden Seiten des Schnappabschnitts **56** vorgesehen sein. Zwischen den beiden Endstellung P1 und P2 des Schnappelements **12** wird diese Piezoelement gestaucht bzw. gedehnt. Diese mechanische Beanspruchung des Piezoelements führt dazu, dass am Piezoelement elektrische Spannungen abgegriffen werden können.

Bezugszeichenliste

10	Drehgeber
12	Schnappelement
14	Energiewandler
16	Energiespeicher
18	Gehäuse
20	Feldquelle
22	Permanentmagnet
24	Geberwelle
26	Drehachse von 24
28	Drehbewegung
30	Kraftfeld
32	Auswerteeinheit
34	Datenspeicher
E1, E2	Ebenen

35	Leiterplatte
36	Schnappscheibe
37	Längsrichtung von 36
38	Schnappelement-Magnet
40	Induktionssystem
42	Induktionsspule
44	Spulenachse
F_H	Haltekraft
F_M	Magnetkraft
F_A	äußere Kraft/Kraft von außen
F_S	Schwellenkraft = $-F_H$
46	Dipolachse von 20
48	Magnetfeld
50	Feldlinie
P1	1. Endstellung, stabil
P2	2. Endstellung
51	Körper von 12
52	Weichmagnet-Material
54	Enden von 12
56	Schnappabschnitt
A	Auslenkungsrichtung
60	magnetischer Fluss
62	Flussleitelement
64	Magnetkreis

Patentansprüche

1. Energieautarker Multiturn-Drehgeber (10) mit einem Gehäuse (18);
einem mechanisch verformbaren Schnappelement (12), das einen länglichen Körper (51) aufweist, der sich im Wesentlichen entlang einer Längsrichtung (37) erstreckt und in der Längsrichtung (37) gegenüberliegende gehäusefeste Enden (54) aufweist, wobei ein zwischen den gehäusefesten Enden (54) liegender Schnappabschnitt (56) des Körpers (51) quer zur Längsrichtung (37) durch ein äußeres veränderliches Kraftfeld (30), welches durch eine an einer Geberwelle (24) vorgesehene Feldquelle (20) hervorgerufen wird, mittels mechanischer Verformung zwischen einer ersten stabilen Endstellung (P1) und einer zweiten Endstellung (P2) beweglich ist, wobei die zweite Endstellung (P2) stabil oder metastabil ist, wobei das Schnappelement (12) eingerichtet ist, mit dem Kraftfeld (30) so wechselzuwirken, dass sich der Schnappabschnitt (56) aus der ersten Endstellung (P1) in die zweite Endstellung (P2) bewegt, wenn eine Stärke des Kraftfelds (30) einen vorgegebenen Schwellenwert ($-F_H$) überschreitet; und
einer Energiewandlungseinheit (14), die eingerichtet und angeordnet ist, die mechanische Verformung des Schnappabschnitts (56) zwischen den Endstellungen (P1, P2) zumindest teilweise in elektrische Energie zu wandeln.

2. Drehgeber (10) nach Anspruch 1, wobei der Schnappabschnitt (56) des Körpers (51) senkrecht zur Längsrichtung (37) zwischen der ersten und zweiten Endstellung (P1, P2) beweglich ist.

3. Drehgeber (10) nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Schnappabschnitt (56) des Körpers (51) ausschließlich durch das äußere veränderliche Kraftfeld (30) beweglich ist.

4. Drehgeber (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, der einen Energiespeicher (16) aufweist, der elektrisch mit der Energiewandlungseinheit (14) verbunden ist.

5. Drehgeber (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Kraftfeld (30) ein Magnetfeld (48) ist, wobei die Feldquelle (20) mindestens einen exzentrisch an der Geberwelle (24) anbringbaren magnetischen Dipol (M1) umfasst und wobei der Schnappabschnitt (56) entweder aus einem magnetisierbaren Material (52) besteht, mit dem magnetisierbaren Material (52) beschichtet ist oder mit einem Schnappelement-Magneten (M2, 38) verbunden ist.

6. Drehgeber nach Anspruch 5, wobei der magnetische Dipol (M1) ein Permanentmagnet (22) ist.

7. Drehgeber (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Feldquelle (20) in einer Ebene (E1) bewegt wird, die im Wesentlichen parallel zur Längsrichtung (37) orientiert ist.

8. Drehgeber (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Energiewandlungseinheit (14) ein Induktionssystem (40) ist, das eine Induktionsspule (42) aufweist, die gegenüberliegend zum Schnappelement (12) angeordnet ist, so dass sich ein Magnetfeld (48) innerhalb der Induktionsspule (42) signifikant ändert, wenn sich der Schnappabschnitt (56) zwischen den Endstellungen (P1, P2) bewegt.

9. Drehgeber (10) nach Anspruch 8, wobei das Induktionssystem (40) ferner einen magnetischen Kreis (64) aufweist, der ein Flussleitelement (62) zur gezielten räumlichen Führung eines magnetischen Flusses (60) aufweist, wobei sich das Flussleitelement (62) durch die Induktionsspule (42) erstreckt, wobei der magnetische Kreis (64) in sich geschlossen ist, wenn sich der Schnappabschnitt (56) in einer der Endstellungen (P1) befindet, und wobei der magnetische Kreis (64) geöffnet ist oder sich ein Flussrichtungswechsel des magnetischen Kreises (64) im Flussleitelement (62) einstellt, wenn sich der Schnappabschnitt (56) in der anderen Endstellung (P2) befindet.

10. Drehgeber (10) nach Anspruch 8, wobei auf einer der Feldquelle (20) zugewandten oder abgewandten Seite des Schnappabschnitts (56) ein Schnappelement-Permanentmagnet (M2, 38) angebracht ist, wobei der Schnappelement-Permanentmagnet (M2, 38) eine Dipolachse (46) aufweist, die vorzugsweise im Wesentlichen parallel zu einer Spulenachse (44) der Induktionsspule (42) orientiert ist, und wobei der Schnappelement-Permanentmagnet

(M2, **38**) vorzugsweise in einer der beiden Endstellungen (P1, P2) zumindest teilweise in die Induktionsspule (**42**) eintaucht.

11. Drehgeber (**10**) nach Anspruch 10, wobei ein Rückhol-Magnet (M3) vorhanden ist, falls die zweite Endstellung (P2) ebenfalls stabil ist, wobei der Rückhol-Magnet (M3) derart entfernt zum Schnappelement (**12**) angeordnet ist, dass sich das Schnappelement (**12**) aus der zweiten Endstellung (P2) in die erste Endstellung (P1) zurückbewegt, wenn die Stärke des Kraftfelds (**30**) den vorgegebenen Schwellenwert (Fs) wieder unterschreitet,

12. Drehgeber (**10**) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Energiewandlungseinheit (**14**) mindestens ein Piezoelement aufweist, welches beim Schnappabschnitt (**56**) angeordnet ist und welches durch die mechanische Verformung gestaucht und gedehnt wird, woraus elektrische Energie erzeugbar ist.

13. Drehgeber (**10**) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der Schnappabschnitt (**56**) eine Platte (C2) eines Kondensators darstellt, der ein Teil der Energiewandlungseinheit (**14**) ist, oder mit der Platte (C2) verbunden ist.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

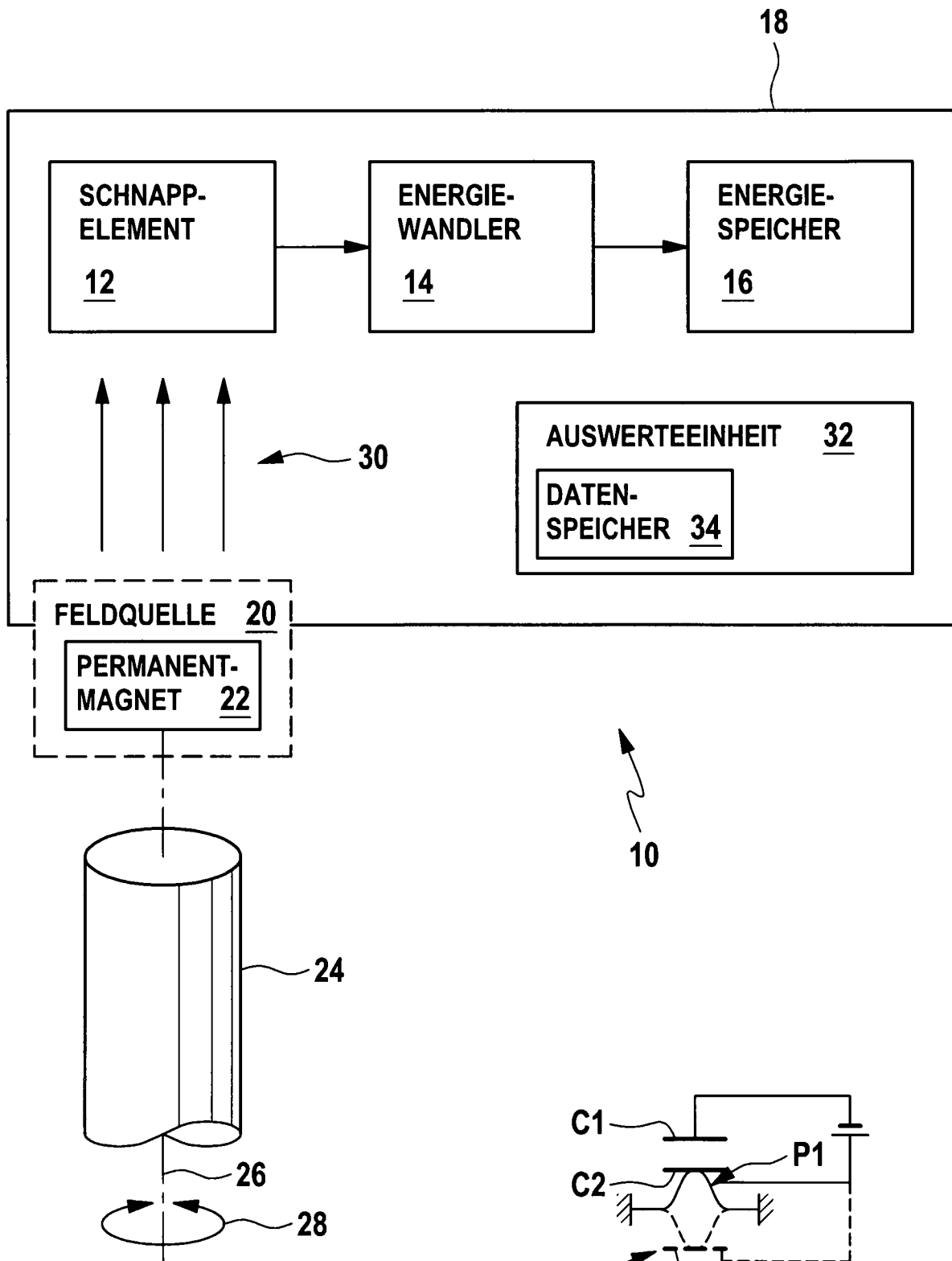


Fig. 1

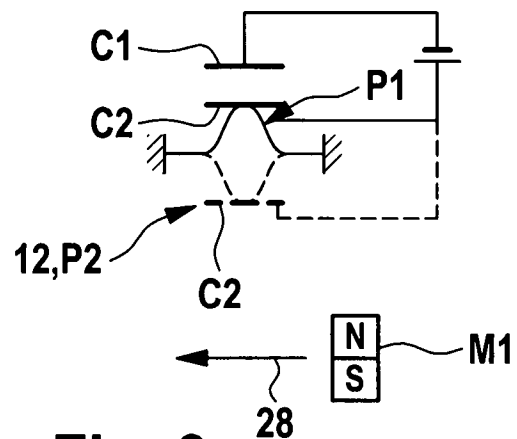


Fig. 8

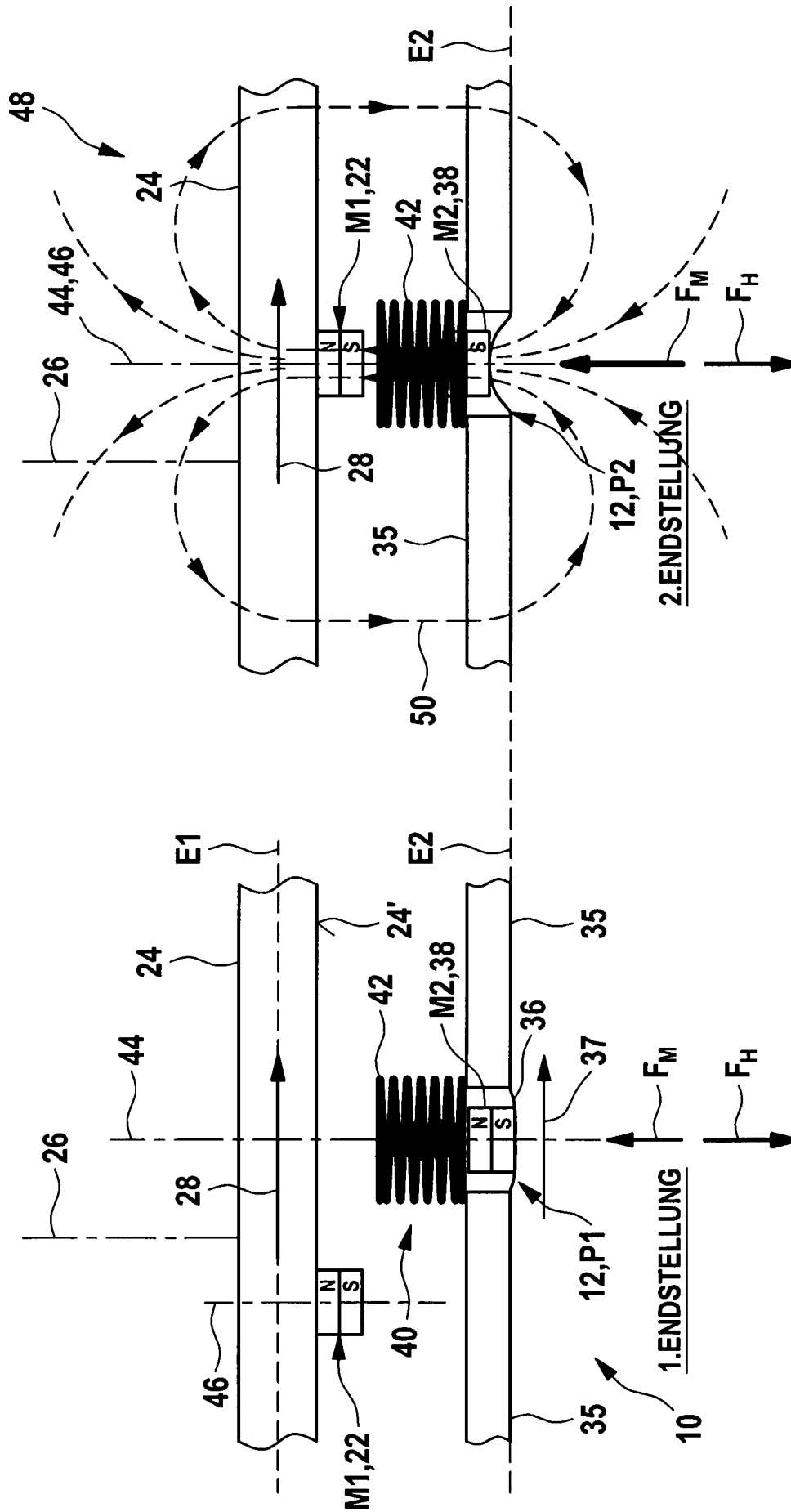
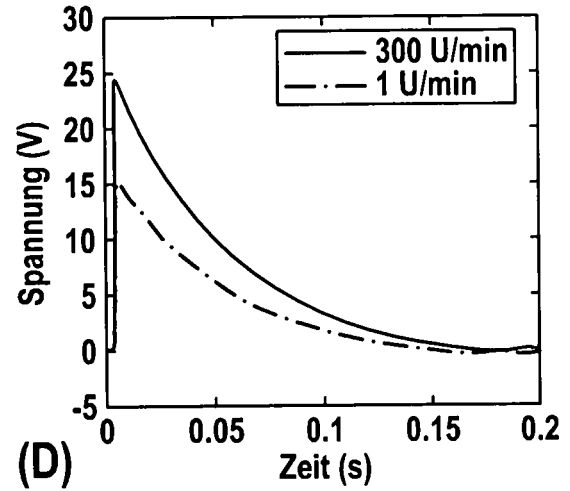
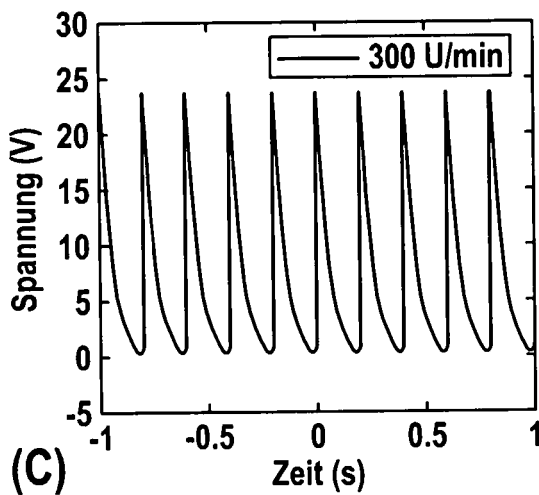
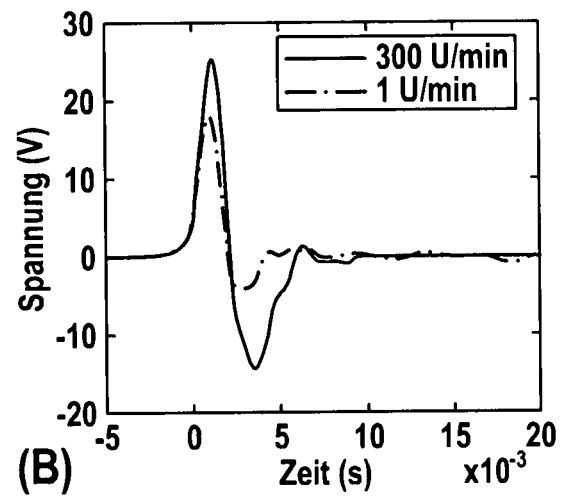
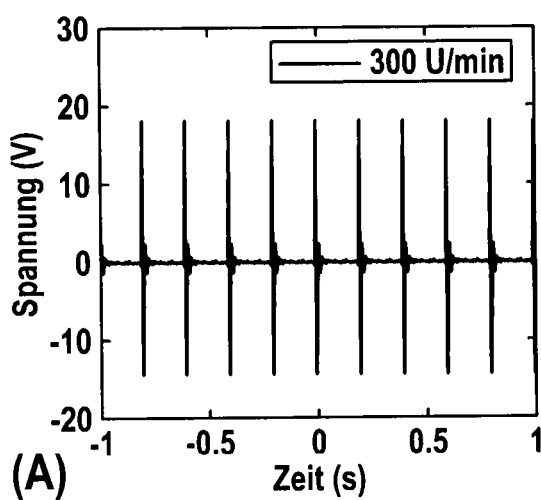
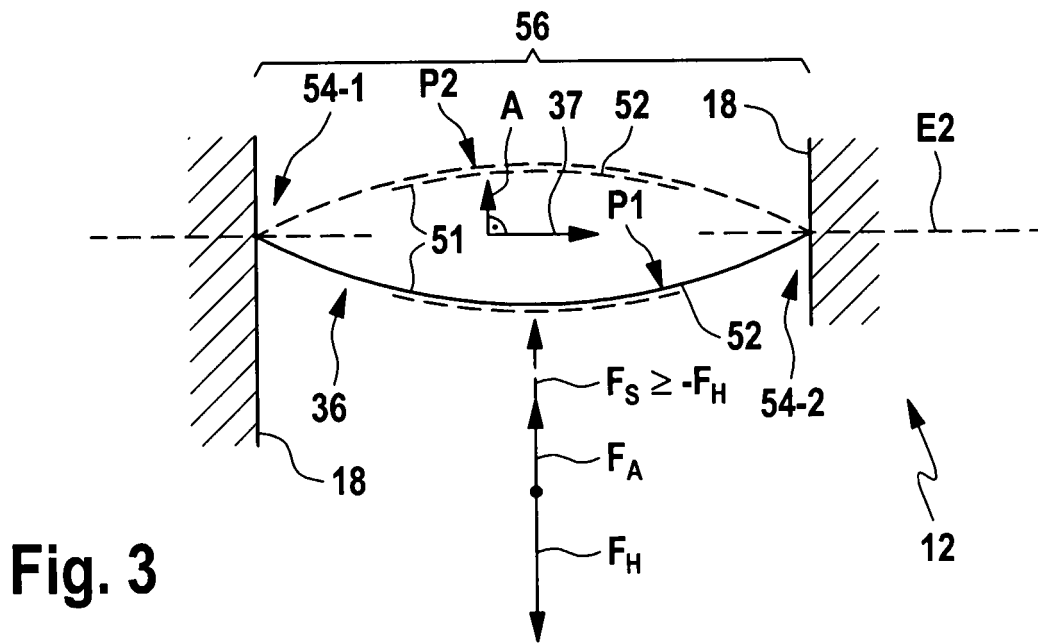


Fig. 2B

Fig. 2A

**Fig. 5**

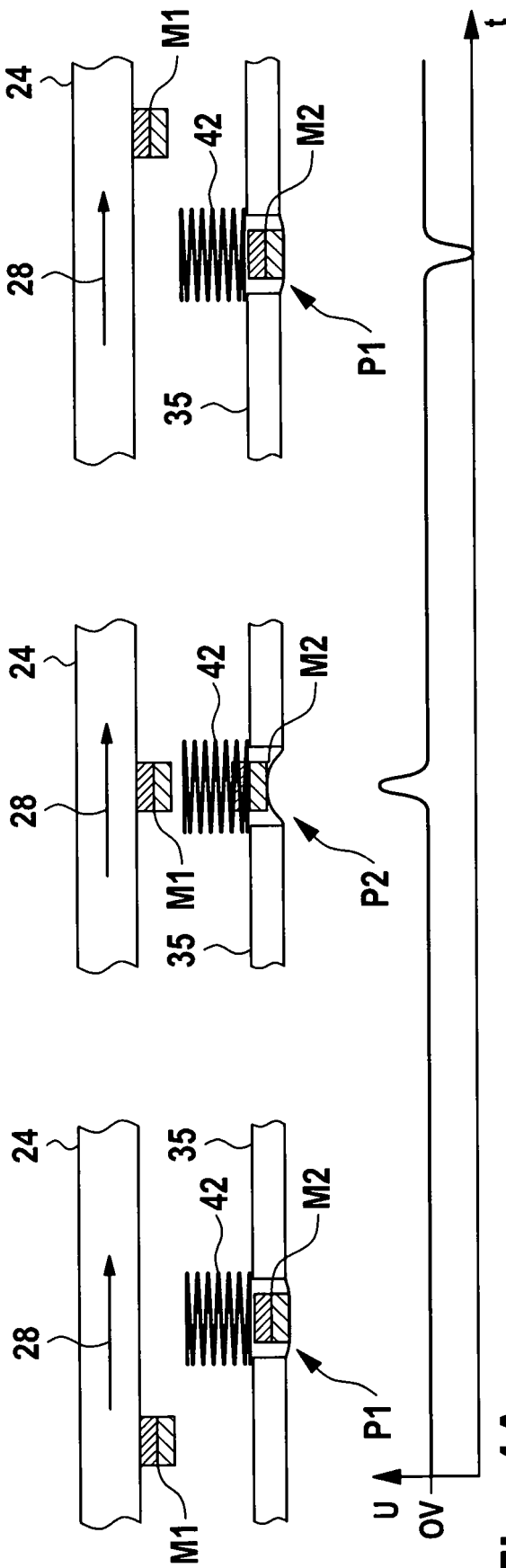


Fig. 4A (1 U/min)

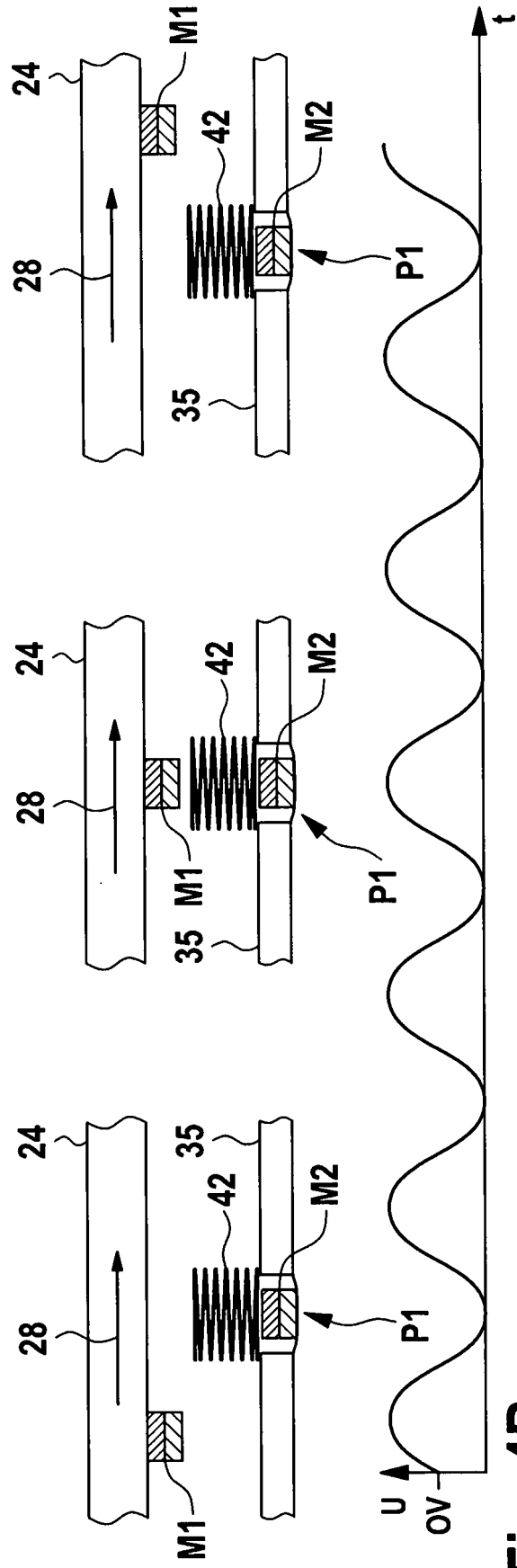


Fig. 4B (300 U/min)

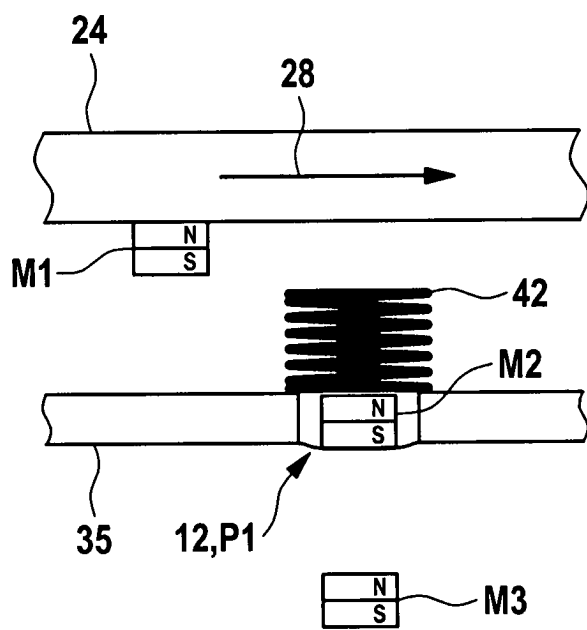


Fig. 6A

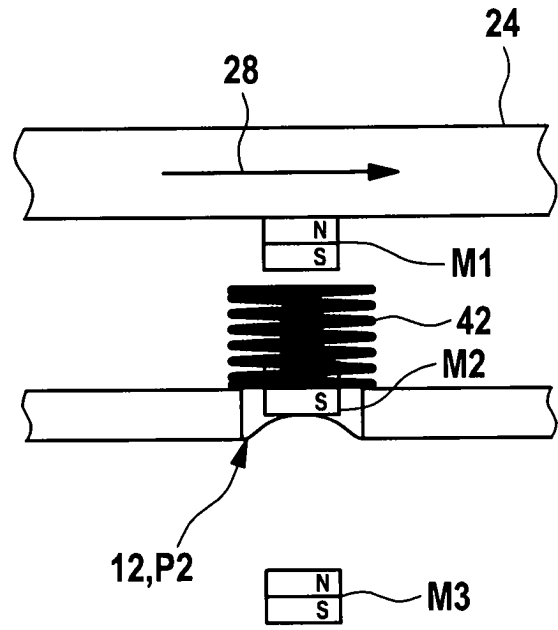


Fig. 6B

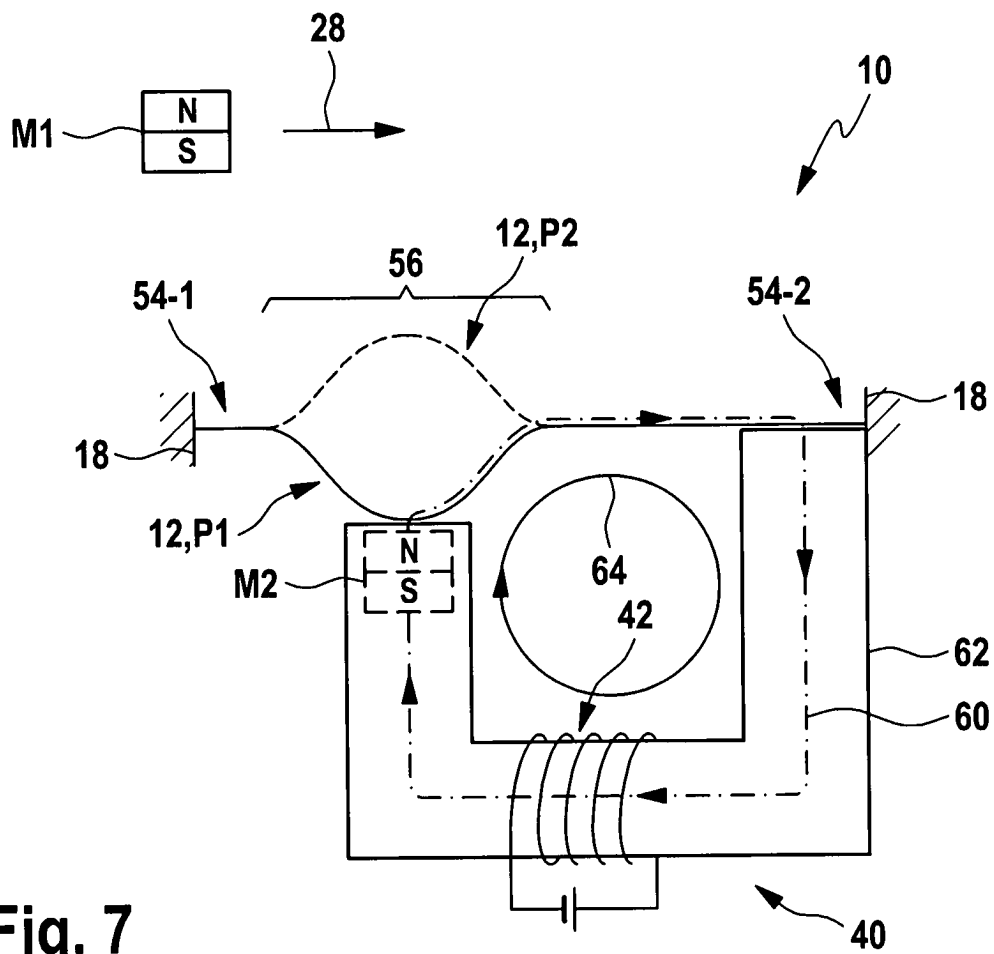


Fig. 7