

(19)



(11)

EP 2 674 252 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
01.03.2017 Patentblatt 2017/09

(51) Int Cl.:
B25D 13/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13171675.5**

(22) Anmeldetag: **12.06.2013**

(54) Werkzeugmaschine und Steuerungsverfahren

Machine tool and control method

Machine-outil et procédé de commande

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

- **Wierer, Michael**
6700 Bludenz (AT)
- **Abu Antoun, Chafic**
9470 Buchs (CH)

(30) Priorität: **15.06.2012 DE 102012210082**

(74) Vertreter: **Hilti Aktiengesellschaft**
Corporate Intellectual Property
Feldkircherstrasse 100
Postfach 333
9494 Schaan (LI)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
18.12.2013 Patentblatt 2013/51

(73) Patentinhaber: **HILTI Aktiengesellschaft**
9494 Schaan (LI)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 0 101 389 EP-A1- 1 607 186
EP-A1- 2 279 831 DE-A1-102007 000 386
US-A1- 2010 206 593

(72) Erfinder:
 • **Raggl, Klaus**
8050 Zürich (CH)

EP 2 674 252 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Werkzeugmaschine gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 8, die ein meißelndes Werkzeug antreiben kann. Ein Schläger wird unmittelbar durch Magnetspulen beschleunigt und schlägt auf das Werkzeug. Werkzeugmaschinen dieses Typs sind beispielsweise aus der Publikation US 2010/0206593 bekannt.

[0002] Die Erfindung betrifft auch ein Steuerungsverfahren gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Ein solches Verfahren ist aus der US 2010/0206593 bekannt.

OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

[0003] Eine Werkzeugmaschine hat eine Werkzeugaufnahme, die eingerichtet ist ein meißelndes Werkzeug längs einer Bewegungsachse beweglich zu lagern. Ein Schlagwerk, vorzugsweise ein magneto-pneumatisches Schlagwerk, beinhaltet einen primären Antrieb, der um die Bewegungsachse angeordnet eine Magnetspule, vorzugsweise in Schlagrichtung aufeinanderfolgend eine erste Magnetspule und eine zweite Magnetspule aufweist. Das Schlagwerk hat auf der Bewegungsachse innerhalb der Magnetspulen, und in Schlagrichtung aufeinanderfolgend einen Schläger und einen Döpper. Der Döpper ragt wenigstens teilweise in die Magnetspule und/oder ein Joch der Magnetspule hinein. Ferner kann das Schlagwerk eine in Schlagrichtung auf den Schläger wirkende Luftfeder aufweisen. Eine geregelte Stromquelle bildet mit wenigstens der zweiten Magnetspule einen Stromkreis, in dem ein von der Stromquelle auf einen Sollwert geregelter Strom fließt. Die Steuerung beendet eine Beschleunigungsphase, wenn eine für einen Schlag typische Änderung des in der Magnetspule, fließenden Stroms oder eine für einen Schlag typische Änderung einer Stellgröße des Regelkreises der Stromquelle detektiert wird.

[0004] Die für einen Schlag typische Änderung kann basierend auf einem abgelegten Muster für die Änderung des in der Magnetspule, fließenden Stroms oder einer für einen Schlag typischen Änderung einer Stellgröße des Regelkreises der Stromquelle beim Aufschlagen des Schlägers auf den Döpper identifiziert werden. Der Anstieg des Stroms in dem Stromkreis ergibt sich durch ein Wechselspiel der geregelten Stromquelle und der von dem Schläger in der Magnetspule induzierten Spannung. Der sich bewegende Schläger induziert eine Spannung in der Magnetspule, welche dem von der Stromquelle eingespeisten Strom entgegenwirkt. Die Stromquelle gleicht dies durch ein Erhöhen der von ihr an die Magnetspule angelegten Spannung aus. Die induzierte Spannung nimmt mit der Geschwindigkeit des Schlägers zu. Bei dem Schlag des Schlägers auf den Döpper ergibt sich eine sehr große Geschwindigkeitsänderung und ergo eine große Änderung der induzierten Spannung. Die

geregelte Stromquelle benötigt nun einerseits etwas Zeit, um die von ihr angelegte Spannung anzupassen und reagiert mit einer Änderung der Stellgröße. Dieses Muster ist eindeutig für den Schlag. Ferner erkennt dieses Verfahren einen Schlag unabhängig von der Stellung des Döppers, z.B. wenn dieser seine Grundstellung nicht erreicht hat.

[0005] Erfindungsgemäß werden ein Steuerungsverfahren gemäß dem Anspruch 1 und eine Werkzeugmaschine gemäß dem Anspruch 8 vorgesehen.

[0006] Eine Ausgestaltung sieht vor, dass die Steuerung die Beschleunigungsphase beendet, wenn eine Änderungsrate des fließenden Stroms und/oder die Stellgröße des Regelkreises einen Schwellwert überschreiten.

[0007] Eine Ausgestaltung sieht vor, dass die Steuerung beim Beenden der Beschleunigungsphase den Sollwert auf Null setzt. Der primäre Antrieb wird nach dem Schlag abgeschaltet.

[0008] Eine Ausgestaltung sieht vor, dass ein Stromsensor den in der Magnetspule fließenden Strom misst und ein Diskriminator das Beenden der Beschleunigungsphase triggert, wenn der gemessene Strom einen Schwellwert überschreitet. Der Schwellwert kann zwischen 5 % und 10 % größer als der Sollwert sein. Die geregelte Stromquelle kann eine Regelschleife aufweisen. Ein Diskriminator triggert das Beenden der Beschleunigungsphase, wenn die Stellgröße in der Regelschleife einen Schwellwert überschreitet.

[0009] Eine Ausgestaltung sieht vor, dass der primäre Antrieb, um die Bewegungsachse angeordnet und in Schlagrichtung aufeinanderfolgend eine erste Magnetspule, einen permanent und radial magnetisierten Ringmagnet, z.B. aus Permanentmagneten, und eine zweite Magnetspule beinhaltet. Innerhalb des primären Antriebs sind teilweise eine Luftfeder, der Schläger und der Döpper angeordnet. Das Steuerungsverfahren sieht vor, dass während der Beschleunigungsphase die Stromquelle in die erste Magnetspule und die zweite Magnetspule einen Strom einspeist. Ein von der ersten Magnetspule innerhalb der ersten Magnetspule erzeugtes erstes Magnetfeld ist in der Beschleunigungsphase destruktiv mit dem Magnetfeld des Ringmagnets überlagert. Ein von der zweiten Magnetspule innerhalb der zweiten Magnetspule erzeugtes zweites Magnetfeld ist in der Beschleunigungsphase konstruktiv mit dem Magnetfeld des Ringmagnets überlagert.

KURZE BESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0010] Die nachfolgende Beschreibung erläutert die Erfindung anhand von exemplarischen Ausführungsformen und Figuren. In den Figuren zeigen:

Fig. 1 einen Elektromeißel

Fig. 2 ein Schlagwerk des Elektromeißels

- Fig. 3 Bewegung von Schläger und Döpper
- Fig. 4 Schnitt durch das Schlagwerk in der Ebene IV-IV
- Fig. 5 elektrische Verschaltung des Schlagwerks
- Fig. 6 Steuerungsdiagramm

[0011] Gleiche oder funktionsgleiche Elemente werden durch gleiche Bezugszeichen in den Figuren indiziert, soweit nicht anders angegeben.

AUSFÜHRUNGSFORMEN DER ERFINDUNG

[0012] Fig. 1 zeigt einen handgehaltenen Elektromeißel 1 als Beispiel für eine meißelnde Werkzeugmaschine. Ein magneto-pneumatisches Schlagwerk 2 erzeugt mittels eines auf einer Bewegungsachse 3 geführten Schlägers 4 periodisch oder aperiodisch Schläge in eine Schlagrichtung 5. Eine Werkzeugaufnahme 6 hält auf der Bewegungsachse 3 an dem Schlagwerk 2 anliegend ein Meißelwerkzeug 7. Das Meißelwerkzeug 7 ist in der Werkzeugaufnahme 6 längs der Bewegungsachse 3 beweglich geführt und kann in Schlagrichtung 5 angetrieben von den Schlägen in z.B. einen Untergrund eindringen. Eine Verriegelung 8 begrenzt die axiale Bewegung des Meißelwerkzeuges 7 in der Werkzeugaufnahme 6. Die Verriegelung 8 ist beispielsweise ein schwenkbarer Bügel und ist vorzugsweise ohne Hilfsmittel manuell entriegelbar, um das Meißelwerkzeug 7 austauschen zu können.

[0013] Das Schlagwerk 2 ist in einem Maschinengehäuse 9 angeordnet. Ein an dem Maschinengehäuse 9 angelegter Handgriff 10 ermöglicht dem Anwender den Elektromeißel 1 zu halten und im Betrieb zu führen. Ein Systemschalter 11, mit welchem der Anwender das Schlagwerk 2 in Betrieb nehmen kann, ist vorzugsweise am Handgriff 10 angebracht. Der Systemschalter 11 aktiviert beispielsweise eine Steuerung 12 des Schlagwerks 2.

[0014] Fig. 2 zeigt das magneto-pneumatisches Schlagwerk 2 im Längsschnitt. Das Schlagwerk 2 hat nur zwei bewegliche Komponenten: einen Schläger 4 und einen Döpper 13. Der Schläger 4 und der Döpper 13 liegen auf der gemeinsamen Bewegungsachse 3; der Döpper 13 folgt in Schlagrichtung 5 auf den Schläger 4. Der Schläger 4 wird zwischen einem Schlagpunkt 14 und einem oberen Wendepunkt 15 auf der Bewegungsachse 3 hin- und herbewegt.

[0015] Bei dem Schlagpunkt 14 trifft der Schläger 4 auf den Döpper 13 auf. Die Position des Schlagpunkt 14 längs der Achse ist durch den Döpper 13 vorgegeben. Der Döpper 13 ruht vorzugsweise in seiner Grundstellung 16 und kehrt vorzugsweise nach jedem Schlag in diese Grundstellung 16 zurück, bevor der Schläger 4 ein nächstes Mal auf den Döpper 13 aufschlägt. Dieser bevorzugte Betrieb wird für die nachfolgende Beschreibung

unterstellt. Das magneto-pneumatische Schlagwerk 2 hat jedoch, im Gegensatz zu einem herkömmlichen pneumatischen Schlagwerk 2, eine hohe Toleranz gegenüber der tatsächlichen Position des Döppers 13. Dieser kann bei einem Schlag noch in Schlagrichtung 5 gegenüber der Grundstellung 16 ausgerückt sein. Die Grundstellung 16 gibt somit längs der Schlagrichtung 5 die früheste Position an, an welcher der Schläger 4 auf den Döpper 13 aufschlagen kann.

[0016] Der Abstand 17 des Schlägers 4 zum Döpper 13 ist im oberen Wendepunkt 15 am größten, eine dabei von dem Schläger 4 zurückgelegte Distanz wird nachfolgend als Hub 18 bezeichnet. Fig. 3 illustriert schematisch die Bewegung des Schlägers 4 und des Döppers 13 bei drei aufeinanderfolgenden Schlägen über die Zeit 19.

[0017] In seiner Ruhestellung liegt der Schläger 4 typischerweise an dem Döpper 13 an. Für einen Schlag wird der Schläger 4 gegen die Schlagrichtung 5 zurückbewegt und nach Erreichen des oberen Wendepunkts 15 in Schlagrichtung 5 beschleunigt. Der Schläger 4 prallt am Ende seiner Bewegung in Schlagrichtung 5 im Schlagpunkt 14 auf den Döpper 13. Der Döpper 13 nimmt deutlich mehr als die Hälfte der kinetischen Energie des Schlägers 4 auf und wird in Schlagrichtung 5 ausgelenkt. Der Döpper 13 schiebt das an ihm anliegende Meißelwerkzeug 7 in Schlagrichtung 5 vor sich her in den Untergrund. Der Anwender presst das Schlagwerk 2 in Schlagrichtung 5 gegen den Untergrund, wodurch der Döpper 13, vorzugsweise mittelbar durch das Meißelwerkzeug 7, in seine Grundstellung 16 zurückgeschoben wird. Der Döpper 13 liegt in der Grundstellung in Schlagrichtung 5 an einem gehäusefesten Anschlag 20 an. Der Anschlag 20 kann beispielsweise ein Dämpfelement enthalten. Der beispielhafte Döpper 13 hat radial vorstehende Flügel 21, welche an dem Anschlag 20 anliegen können.

[0018] Der Schläger 4 wird berührungslos von einem magnetischen, primären Antrieb 22 angetrieben. Der primäre Antrieb 22 hebt den Schläger 4 entgegen der Schlagrichtung 5 an. Wie nachfolgend ausgeführt ist der primäre Antrieb 22 vorzugsweise nur zeitweise während des Anhebens des Schlägers 4 zu dem oberen Wendepunkt 15 aktiv. Der primäre Antrieb 22 beschleunigt den Schläger 4 nach Überschreiten des oberen Wendepunkt 15 bis zum Erreichen des Schlagpunkts 14. Der primäre Antrieb 22 kann etwa zeitgleich mit dem Überschreiten des oberen Wendepunkts 15 aktiviert werden. Vorzugsweise bleibt der primäre Antrieb 22 bis zum Schlag aktiv. Eine Luftfeder 23 unterstützt den primären Antrieb 22 während der Bewegung des Schlägers 4 in Schlagrichtung 5, ab dem oberen Wendepunkt bis kurz vor dem Schlagpunkt. Die Luftfeder 23 ist auf der Bewegungsachse 3 in Schlagrichtung 5 vor dem Schläger 4 angeordnet und wirkt auf den Schläger 4.

[0019] Der Schläger 4 besteht hauptsächlich aus einem zylindrischen Grundkörper, dessen Mantelfläche 24 parallel zu der Bewegungsachse 3 ist. Eine vordere Stirnfläche 25 weist in Schlagrichtung 5. Die vordere Stirnfläche

che **25** ist eben und überdeckt den gesamten Querschnitt des Schlägers **4**. Eine hintere Stirnfläche **26** ist vorzugsweise ebenfalls eben. Der Schläger **4** ist in ein Führungsrohr **27** eingesetzt. Das Führungsrohr **27** ist koaxial zu der Bewegungsachse **3** und hat eine zylindrische Innenwand **28**. Die Mantelfläche **24** des Schlägers **4** liegt an der Innenwand **28** an. Der Schläger **4** ist in dem Führungsrohr **27** auf der Bewegungsachse **3** zwangsgeführt. Ein Querschnitt des Schlägers **4** und ein Hohlquerschnitt des Führungsrohrs **27** sind bis auf ein geringes Laufspiel passgenau aufeinander abgestimmt. Der Schläger **4** verschließt gleich einer fliegenden Dichtung das Führungsrohr **27**. Ein Dichtungsring **29** aus Gummi kann in die Mantelfläche **24** eingesetzt Toleranzen in der Fertigung ausgleichen.

[0020] Das Führungsrohr **27** ist an seinem in Schlagrichtung **5** vorderen Ende geschlossen. Bei der beispielhaften Ausführungsform ist ein Verschluss **30** in das Führungsrohr **27** eingesetzt, dessen Querschnitt dem Hohlquerschnitt des Führungsrohrs **27** entspricht. Die nach innen gerichtete Verschlussfläche **31** ist vorzugsweise eben und senkrecht zu der Bewegungsachse **3**. Der Verschluss **30** ist in einem festen Abstand **32** zu dem in der Grundstellung **16** ruhenden Döpper **13** angebracht. Der Hohlraum zwischen dem Verschluss **30** und dem Döpper **13**, in Grundstellung **16**, ist der für den Schläger **4** effektive Bereich des Führungsrohrs **27**, innerhalb dem der Schläger **4** sich bewegen kann. Der maximale Hub **18** ist im wesentlichen der Abstand **32** abzüglich der Länge **33** des Schlägers **4**.

[0021] Das einseitig geschlossene Führungsrohr **27** und der Schläger **4** schließen eine pneumatische Kammer **34** ab. Ein Volumen der pneumatischen Kammer **34** ist proportional zu einem Abstand **35** zwischen der Verschlussfläche **31** und der hinteren Stirnfläche **26** des Schlägers. Das Volumen ist aufgrund des längs der Bewegungsachse **3** beweglichen Schlägers **4** variabel. Die bei einer Bewegung in der pneumatischen Kammer **34** komprimierte oder dekomprimierte Luft ergibt die Wirkung der Luftfeder **23**. Das maximale Volumen nimmt die pneumatische Kammer **34** im Schlagpunkt **14** ein, d.h. wenn der Schläger **4** auf den Döpper **13** trifft. Der Druck in der pneumatischen Kammer **34** ist hierbei am geringsten und vorteilhafterweise gleich dem Umgebungsdruck. Die potentielle Energie der Luftfeder **23** sei im Schlagpunkt **14** definitionsgemäß gleich Null. Das geringste Volumen erreicht die pneumatische Kammer **34** im oberen Wendepunkt **15** des Schlägers **4**; der Druck kann auf etwa 16 bar ansteigen. Der Hub des Schlägers **4** wird durch ein Steuerungsverfahren begrenzt, um das Volumen und den Druck der pneumatischen Kammer **34** im oberen Wendepunkt **15** auf einen Zielwert einzustellen. Die potentielle Energie der Luftfeder **23** soll im oberen Wendepunkt **15** in einem engen Wertebereich liegen, unabhängig von äußeren Einflüssen. Insbesondere wird hierdurch das Schlagwerk **2** robust gegenüber der Position des Döpfers **13** beim Schlag, obwohl dessen Position einen großen Einfluss auf die Flugdauer des Schlä-

gers **4** bis zu dem oberen Wendepunkt **15** hat.

[0022] Die Luftfeder **23** ist mit einer oder mehreren Belüftungsöffnungen **36** versehen, um Verluste der Luftmenge in der Luftfeder **23** auszugleichen. Die Belüftungsöffnungen **36** sind während der Kompression der Luftfeder **23** durch den Schläger **4** verschlossen. Vorzugsweise gibt der Schläger **4** die Belüftungsöffnungen **36** kurz vor dem Schlagpunkt **14** frei, wenn der Druck in der Luftfeder **23** sich um weniger als 50 % von dem Umgebungsdruck unterscheidet. Bei der beispielhaften Ausgestaltung überfährt der Schläger **4** die eine Belüftungsöffnung **36**, wenn er sich um mehr als 5 % seines Hubs **18** von der Schlagposition entfernt hat.

[0023] Der primäre Antrieb **22** basiert auf Reluktanzkräften, welche auf den Schläger **4** wirken. Der Grundkörper des Schlägers **4** ist aus einem weichmagnetischen Stahl. Gegenüber einem Permanentmagnet zeichnet sich der Schläger **4** durch seine geringe Koerzitivfeldstärke von weniger als 4000 A/m, vorzugsweise weniger als 2500 A/m, aus. Ein externes Magnetfeld mit dieser geringen Feldstärke kann bereits eine Polarisation des Schlägers **4** umpolen. Ein angelegtes externes Magnetfeld zieht den magnetisierbaren Schläger **4** in Bereiche höchster Feldstärke, unabhängig von deren Polarität.

[0024] Der primäre Antrieb **22** hat längs der Bewegungsachse **3** einen Hohlraum, in den das Führungsrohr **27** eingesetzt ist. Der primäre Antrieb **22** erzeugt in dem Hohlraum und innerhalb des Führungsrohrs ein permanentes Magnetfeld **37** und ein zweiteiliges schaltbares Magnetfeld **38**. Die Magnetfelder **37**, **38** unterteilen den Hohlraum und den effektiven Bereich des Führungsrohrs **27** längs der Bewegungsachse **3** in einen oberen Abschnitt **39**, einen mittleren Abschnitt **40** und einen unteren Abschnitt **41**. Feldlinien der Magnetfelder **37**, **38** verlaufen in dem oberen Abschnitt **39** und dem unteren Abschnitt **41** weitgehend parallel zu der Bewegungsachse **3** und in dem mittleren Abschnitt **40** weitgehend senkrecht zu der Bewegungsachse **3**. Die Magnetfelder **37**, **38** unterscheiden sich in ihrer parallelen oder antiparallelen Orientierung der Feldlinien zu der Schlagrichtung **5**. Die ausschnittsweise beispielhaft dargestellten Feldlinien (Strich-Punkt-Muster) des permanenten Magnetfeldes **37** verlaufen in dem oberen Abschnitt **39** des Führungsrohrs **27** weitgehend antiparallel zu der Schlagrichtung **5** und in einem unteren Abschnitt **41** des Führungsrohrs **27** weitgehend parallel zu der Schlagrichtung **5**. Für die Funktion des Schlagwerks **2** ist die unterschiedliche Laufrichtung der Feldlinien des permanenten Magnetfeldes **37** im oberen Abschnitt **39** verglichen zu der Laufrichtung im unteren Abschnitt **41** wesentlich. Die Feldlinien des schaltbaren Magnetfeldes **38** verlaufen während einer Phase (gestrichelt dargestellt) innerhalb des oberen Abschnitts **39** und unteren Abschnitts **41** des Führungsrohrs **27** weitgehend in Schlagrichtung **5** und während einer anderen Phase (nicht dargestellt) innerhalb beider Abschnitte **39**, **41** weitgehend antiparallel zu der Schlagrichtung **5**. Das permanente Magnetfeld **37**

und das schaltbare Magnetfeld **38** überlagern sich somit in einem der beiden Abschnitte **39** destruktiv und dem anderen der Abschnitte **41** konstruktiv. In welchem der Abschnitte **39** sich die Magnetfelder **37**, **38** konstruktiv überlagern hängt von einem aktuellen Schaltzyklus der Steuerung **12** ab. Der Schläger **4** wird jeweils in den Abschnitten **39**, **41** mit konstruktiver Überlagerung gezogen. Eine alternierende Umpolung des schaltbaren Magnetfeldes **38** treibt die Hin-und-her-Bewegung des Schlägers **4**.

[0025] Das permanente Magnetfeld **37** wird durch einen radial magnetisierten Ringmagnet **42** aus mehreren Permanentmagneten **43** erzeugt. Fig. 4 zeigt den Ringmagnet **42** in einem Schnitt in der Ebene IV-IV. Die beispielhaften Permanentmagnete **43** sind vorzugsweise Stabmagnete. Die Permanentmagnete **43** sind in radialer Richtung orientiert. Ihre Magnetfeldachsen **44**, d.h. von deren Südpol zu Nordpol, stehen senkrecht auf der Bewegungsachse **3**. Die Permanentmagnete **43** sind alle gleich orientiert, in dem dargestellten Beispiel weist ihr Nordpol N zu der Bewegungsachse **3** hin und der Südpol S von der Bewegungsachse **3** weg. In Umfangsrichtung zwischen den Permanentmagneten **43** kann ein Luftspalt oder ein nicht-magnetisierbares Material **45**, z.B. Kunststoff sein. Der Ringmagnet **42** ist längs der Bewegungsachse **3** zwischen der Verschlussfläche **31** und dem Döpper **13** angeordnet. Vorzugsweise ist der Ringmagnet **42** asymmetrisch angeordnet, insbesondere näher an der Verschlussfläche **31** als an dem Döpper **13**. Die Position des Ringmagnets **42** unterteilt das Führungsrohr **27** längs der Bewegungsachse **3** in einen oberen Abschnitt **39**, welcher in Schlagrichtung **5** vor dem Ringmagnet **42** ist, und einen unteren Abschnitt **41**, welcher in Schlagrichtung **5** nach dem Ringmagnet **42** ist. Die Feldlinien verlaufen in dem oberen Abschnitt **39** weitgehend in die entgegengesetzte Richtung verglichen zu den Feldlinien in dem unteren Abschnitt **41**. Die Permanentmagnete **43** enthalten vorzugsweise eine Legierung aus Neodym. Die Feldstärke an den Polen der Permanentmagnete **43** liegt vorzugsweise oberhalb von 1 Tesla, z.B. bis 2 Tesla.

[0026] Das schaltbare Magnetfeld **38** wird mit einer oberen Magnetspule **46** und einer unteren Magnetspule **47** erzeugt. Die obere Magnetspule **46** ist in Schlagrichtung **5** vor dem Ringmagnet **42**, vorzugsweise unmittelbar an dem Ringmagnet **42** anliegend, angeordnet. Die obere Magnetspule **46** umschließt den oberen Abschnitt **39** des Führungsrohrs **27**. Die untere Magnetspule **47** ist in Schlagrichtung **5** nach dem Ringmagnet **42**, vorzugsweise an diesem anliegend, angeordnet und umschließt den unteren Abschnitt **41**. Die beiden Magnetspulen **39**, **46** werden in gleicher Umlaufrichtung um die Bewegungsachse **3** von einem Strom **48** durchflossen. Das von der oberen Magnetspule **46** erzeugte obere Magnetfeld **49** und das von der Magnetspule **47** erzeugte untere Magnetfeld **50** sind weitgehend parallel zu der Bewegungsachse **3** und beide in die gleiche Richtung längs der Bewegungsachse **3** orientiert, d.h. entweder verlaufen die Feldlinien beider Magnetfelder **49**, **50** innerhalb

des Führungsrohrs **27** in Schlagrichtung **5** oder entgegen der Schlagrichtung **5**. Der Strom **48** wird von einer steuerbaren Stromquelle **51** in die Magnetspulen **46**, **47** eingespeist. Vorzugsweise sind die beiden Magnetspulen **46**, **47** und die Stromquelle **51** in Serie geschaltet (Fig. 5).

[0027] Eine Länge **52**, d.h. Abmessung längs der Bewegungsachse **3**, der unteren Magnetspule **47** ist vorzugsweise größer als die Länge **53** der oberen Magnetspule **46**, das Längenverhältnis liegt im Bereich zwischen 1,75:1 bis 2,25:1. Die jeweiligen Beträge der Magnetspulen **46**, **47** zu der Feldstärke des oberen Magnetfelds **49** bzw. zu der Feldstärke des unteren Magnetfelds **50** innerhalb des Führungsrohrs **27** sind vorzugsweise gleich. Das Verhältnis der Wicklungszahlen der oberen Magnetspule **46** zu der Wicklungszahl der unteren Magnetspule **47** kann dem Längenverhältnis entsprechen. Radiale Abmessungen **54** und eine Stromflächendichte sind vorzugsweise für beide Magnetspulen **46**, **47** (ohne die anderen Komponenten des Schlagwerks) gleich.

[0028] Ein magnetisches Joch **55** kann die Magnetfelder **37**, **38** außerhalb des Führungsrohrs **27** leiten. Das Joch **55** hat beispielsweise einen Hohlzylinder oder einen Käfig aus mehreren längs der Bewegungsachse **3** verlaufenden Rippen, der die beiden Magnetspulen **46**, **47** und den Ringmagnet **42** aus Permanentmagneten **43** umgibt. Ein ringförmiger oberer Abschluss **56** des Jochs **55** deckt die obere Magnetspule **46** entgegen der Schlagrichtung **5** ab. Ein ringförmiger unterer Abschluss **57** grenzt auf der Höhe des Döppers **13** an das Führungsrohr **27** an. Der untere Abschluss **57** deckt die untere Magnetspule **47** in Schlagrichtung **5** ab. Die Magnetfelder **37**, **38** werden in dem oberen Abschnitt **39** und dem unteren Abschnitt **41** parallel oder antiparallel zu der Bewegungsachse **3** geführt. Die Magnetfelder **37**, **38** von dem Joch **55**, insbesondere der ringförmigen Abschlüsse **56**, **57** in radialer Richtung eingespeist. Eine radiale Rückführung erfolgt in dem unteren Abschnitt **41** weitgehend innerhalb des Döppers **13**. Die Feldlinien stehen somit vorzugsweise weitgehend senkrecht auf der Stirnfläche **26** des Schlägers **4** und der Schlagfläche **58** des Döppers **13**. Die radiale Rückführung in dem oberen Abschnitt **39** kann ungeführt, d.h. über die Luft, in das Joch **56** erfolgen.

[0029] Das magnetische Joch **55** ist aus einem magnetisierbaren Material, vorzugsweise aus Elektroblech. Das Führungsrohr **27** ist nicht magnetisierbar. Geeignete Materialien für das Führungsrohr **27** umfassen Chromstahl, alternativ Aluminium oder Kunststoffe. Der Verschluss **30** des Führungsrohrs **27** ist vorzugsweise aus einem nicht-magnetisierbaren Material.

[0030] Der Schläger **4** überlappt vorzugsweise in jeder seiner Stellung mit beiden Magnetspulen **46**, **47**. Insbesondere ragt die hintere Stirnfläche **26** in die obere Magnetspule **46**, wenn der Schläger **4** an dem Döpper **13** anliegt oder zumindest bis in den Ringmagnet **42**. Die hintere Stirnfläche **26** überragt wenigstens die axiale Mitte des Ringmagnets **42**. Die Belüftungsöffnung **36** der pneumatischen Kammer **34** ist auf axialer Höhe eines

dem Ringmagnet **42** zugewandten Endes der oberen Magnetspule **46** angeordnet. Der Abstand **35** zu dem Ringmagnet **42** ist vorzugsweise geringer als 1 cm.

[0031] Eine Steuerung **12** des Schlagwerks **2** steuert die Stromquelle **51** an. Die Stromquelle **51** stellt den von ihr ausgegebenen Strom **48** auf einen durch die Steuerung **12** mittels eines Stellsignals **59** vorgegebenen Sollwert **60** ein. Die Stromquelle **51** beinhaltet vorzugsweise einen Regelkreis **61**, um den ausgegebenen Strom **48** auf den Sollwert **60** zu stabilisieren. Ein Abgriff misst den Ist-Strom **62**. Ein Differenzverstärker **63** bildet aus dem Ist-Strom **48** und dem Sollwert **60** eine Stellgröße **64**, welche der Stromquelle **51** zum Ansteuern der Stromabgabe zugeführt ist. Die Stromquelle **51** wird von einer Stromversorgung **65**, beispielsweise einem Netzanschluss oder einem Batteriepaket, gespeist.

[0032] Die Steuerung **12** schaltet den Sollwert **60** und mittelbar den Strom **48** während einer Hin-und-Herbewegung des Schlägers **4**. Fig. 6 illustriert ein beispielhaftes sich wiederholendes Schaltmuster über die Zeit **19**. Das Schaltmuster ist im wesentlichen in drei unterschiedliche Phasen unterteilt. Ein Zyklus beginnt mit einer aktiven Rückholphase **66**. Während der aktiven Rückholphase **66** wird der Schläger **4** ausgehend von der Schlagposition entgegen die Schlagrichtung **5** beschleunigt. Die aktive Rückholphase **66** endet, wenn die Luftfeder **23** eine vorgegebene potentielle Energie erreicht hat. An die aktive Rückholphase **66** schließt sich unmittelbar eine Ruhephase **67** an, die endet wenn der Schläger **4** den oberen Wendepunkt **15** erreicht. Während oder nachdem der Schläger **4** den oberen Wendepunkt **15** überschreitet, beginnt die Beschleunigungsphase **68**. Während der Beschleunigungsphase **68** wird der Schläger **4** in Schlagrichtung **5** beschleunigt, vorzugsweise durchgehend bis der Schläger **4** auf den Döpper **13** aufschlägt. Je nach der gewünschten Schlagfrequenz kann nach der Beschleunigungsphase **68** eine Pause **69** erfolgen, bevor die nächste aktive Rückholphase **66** beginnt.

[0033] Die Steuerung **12** leitet einen neuen Schlag mit einer aktiven Rückholphase **66** ein. Die Steuerung **12** gibt der geregelten Stromquelle **51** einen ersten Wert **70** als Sollwert **60** vor. Das Vorzeichen des ersten Werts **70** legt fest, dass der Strom **48** derart in den Magnetspulen **47** umläuft, dass sich das Magnetfeld **49** der oberen Magnetspule **46** konstruktiv mit dem permanenten Magnetfeld **37** in dem oberen Abschnitt **39** des Führungsrohrs **27** überlagert. Der Schläger **4** wird nun in den oberen Abschnitt **39** entgegen der Schlagrichtung **5** und entgegen eine Kraft der Luftfeder **23** beschleunigt. Die kinetische Energie des Schlägers **4** nimmt kontinuierlich zu. Aufgrund der Rückwärtsbewegung wird zugleich die Luftfeder **23** komprimiert und die in ihr gespeicherte potentielle Energie steigt aufgrund verrichteter Volumenarbeit an.

[0034] Der Strom **48** durchläuft vorzugsweise beide Magnetspulen **46, 47**. Vorzugsweise überlagern sich die Magnetfelder **37, 38** destruktiv in dem unteren Abschnitt **41**. Der Betrag des ersten Werts **70** kann derart gewählt

sein, dass das von der unteren Magnetspule **47** erzeugte Magnetfeld **50** das permanente Magnetfeld **37** der Permanentmagnete **43** destruktiv kompensiert. Die Magnetfeldstärke ist in dem unteren Abschnitt **41** vorzugsweise auf Null oder auf weniger als 10 % der Magnetfeldstärke in dem oberen Abschnitt **39** abgesenkt. Die Stromquelle **51** und die Magnetspulen **46, 47** sind für den Strom **48** mit der Stromstärke des ersten Werts **70** ausgelegt. Der erste Wert **70** kann während der aktiven Rückholphase **66** konstant gehalten sein.

[0035] Die Steuerung **12** triggert das Ende der aktiven Rückholphase **66** basierend auf einer Prognose über die potentielle Energie der Luftfeder **23** im oberen Wendepunkt **15**. Der primäre Antrieb **22** wird beispielsweise deaktiviert, wenn die potentielle Energie einen Zielwert ohne weitere Unterstützung durch den primären Antrieb **22** erreichen wird. Hierbei wird berücksichtigt, dass zum Zeitpunkt **71** des Abschaltens des primären Antriebs **22** die potentielle Energie bereits einen Teil des Zielwerts erreicht hat und die aktuelle kinetische Energie des Schlägers **4** bis zum oberen Wendepunkt **15** in den bisher fehlenden Teil des Zielwerts umgewandelt wird. Verluste bei der Wandlung können durch in einer in der Steuerung **12** abgelegten Tabelle **72** berücksichtigt sein. Der Zielwert liegt im Bereich zwischen 25 % und 40 %, z.B. wenigstens 30 % und z.B. höchstens 37 %, der Schlagenergie des Schlägers **4**.

[0036] Eine Prognoseeinrichtung **73** vergleicht fortwährend die Betriebsbedingungen des Schlagwerks **2**. Eine beispielhafte Prognose basiert auf einer Druckmessung. Die Prognoseeinrichtung **73** greift die Signale des Drucksensors **74** ab. Der gemessene Druck wird mit einem Schwellwert verglichen. Wenn der Druck den Schwellwert überschreitet, gibt die Prognoseeinrichtung **73** an die Steuerung **12** ein Steuersignal **59** aus. Das Steuersignal **59** signalisiert, dass bei sofortigem Abschalten des primären Antriebs **22** die potentielle Energie den Zielwert erreicht. Die Steuerung **12** beendet die aktive Rückholphase **66**.

[0037] Die Prognoseeinrichtung **73** lädt den Schwellwert vorzugsweise aus der abgespeicherten Nachschlagetabelle **72**. Die Nachschlagetabelle **72** kann genau einen Schwellwert enthalten. Vorzugsweise sind jedoch mehrere für unterschiedliche Betriebsbedingungen vorab bestimmte Schwellwerte hinterlegt. Beispielsweise können Schwellwerte für unterschiedliche Temperaturen in der pneumatischen Kammer **34** hinterlegt sein. Die Prognoseeinrichtung **73** nimmt neben dem Signal des Drucksensors **74** auch ein Signal eines Temperatursensors **75** auf. In Abhängigkeit letzteren wird beispielsweise der Schwellwert ausgewählt.

[0038] Weiters kann die Prognoseeinrichtung **73** aus einer Druckänderung die Geschwindigkeit des Schlägers **4** abschätzen. Die Nachschlagetabelle **72** kann für unterschiedliche Geschwindigkeiten unterschiedliche Schwellwerte für den aktuellen Druck enthalten. Da ein schnellerer Schläger **4** tendenziell die Luftfeder **23** stärker komprimiert, ist der Schwellwert für eine höhere Ge-

schwindigkeit geringer als für eine niedrigerer Geschwindigkeit. Die Auswahl des Schwellwerts in Abhängigkeit der Geschwindigkeit oder der Druckänderung kann die Reproduzierbarkeit des Zielwerts verbessern.

[0039] Das Ende der aktiven Rückholphase 66 ist zugleich der Beginn der Ruhephase 67. Die Steuerung 12 setzt den Sollwert 60 für den Strom 48 auf Null. Das schaltbare Magnetfeld 38 wird abgeschaltet und der primäre Antrieb 22 deaktiviert. Das permanente Magnetfeld 37 wirkt zwar auf den Schläger 4 ein. Da jedoch das permanente Magnetfeld 37 eine im wesentlichen längs der Bewegungsachse 3 konstante Feldstärke hat, übt es nur eine geringe oder keine Kraft auf den Schläger 4 aus.

[0040] Anstelle den Strom 48 auf Null abzusenken, kann der Strom 48 in der Ruhephase 67 auf einen zu dem Sollwert 60 negativen Wert gesetzt werden. Hierdurch wird die Remanenz in dem Schläger 4 abgebaut. Der Betrag des Stroms 48 verglichen zu dem des Sollwert 60 gering, um die Rückwärtsbewegung nicht zu stören, z.B. geringer als 10 %.

[0041] Der Schläger 4 wird während der Ruhephase 67 durch die Luftfeder 23 bis zum Stillstand abgebremst. Die potentielle Energie der Luftfeder 23 erhöht sich dabei noch um einen Teil der kinetischen Energie des Schlägers 4, bevor der Schläger 4 zum Stillstand d.h. zu dem oberen Wendepunkt 15 gelangt.

[0042] Die Sequenz der aktiven Rückholphase 66 und der Ruhephase 67 erweist sich bei den getesteten Aufbauten des Schlagwerks als besonders energieeffizient, insbesondere das Abschalten des Stroms 48 auf Null am Ende der aktiven Rückholphase 66. Die Effizienz des primären Antriebs 22 sinkt mit abnehmendem Abstand 35 des Schlägers 4 von dem oberen Wendepunkt 15. Der Schläger 4 wird solange der primäre Antrieb 22 effizient wirkt auf eine hohe Geschwindigkeit beschleunigt. Zeigt die Prognose auf, dass der Schläger 4 nun ohne den primären Antrieb 22 den gewünschten oberen Wendepunkt 15 erreichen wird, wird der zunehmend ineffizient wirkende primäre Antrieb 22 deaktiviert. Bei einer Alternative wird der Strom 48 kontinuierlich oder in mehreren Schritten auf Null abgesenkt. Hierbei kann auf Kosten der Effizienz eine adaptive Anpassung der Flugbahn des Schlägers 4 zum Erreichen des oberen Wendepunkts 15 vorgenommen werden. Auch bei der Alternative schließt sich vorzugsweise die Ruhephase 67 vor Erreichen des oberen Wendepunkts 15 an.

[0043] Die Dauer der aktiven Rückholphase 66 ergibt sich aus der Prognose. Je nach Betrieb oder auch von Schlag zu Schlag kann die Dauer unterschiedlich lang ausfallen. Beispielsweise erreicht der Döpper 13 vor einem Schlag nicht seine Grundstellung 16, wodurch der Schläger 4 für den nächsten Schlag einen größeren Weg zurücklegen muss. Bei einer festen Dauer der aktiven Rückholphase 66 würde die aufgenommene kinetische Energie für den Schläger 4 nicht bis zu dem gewünschten oberen Wendepunkt 15 gegen die Kraft der Luftfeder 23 ausreichen.

[0044] Die Steuerung 12 triggert das Ende der Ruhe-

phase 67 basierend auf dem Erreichen des oberen Wendepunkt 15. Mit dem Ende der Ruhephase 67 beginnt die Beschleunigungsphase 68. Die Steuerung 12 triggert den Beginn der Beschleunigungsphase 68 anhand der Umkehrbewegung des Schlägers 4. Ein Positions- oder Bewegungssensor kann unmittelbar die Umkehrbewegung des Schlägers 4 erfassen. Vorzugsweise basiert das Erkennen der Umkehrbewegung mittelbar über eine Druckänderung in der pneumatischen Kammer 34.

[0045] Ein Drucksensor 74 ist mit der pneumatischen Kammer 34 gekoppelt. Der Drucksensor 74 ist beispielsweise ein piezoresistiver Drucksensor 74. Der Drucksensor 74 kann in der pneumatischen Kammer 34 angeordnet sein oder über einen Luftkanal mit der pneumatischen Kammer 34 gekoppelt sein. Der Drucksensor 74 ist vorzugsweise an oder in dem Verschluss 30 angeordnet. Dem Drucksensor 74 ist eine Auswertungsrichtung 76 zugeordnet. Die Auswertungsrichtung 76 überwacht eine Druckänderung in der pneumatischen Kammer 34. Sobald die Druckänderung einen negativen Wert annimmt, d.h. der Druck fällt, gibt die Auswertungsrichtung 76 an die Steuerung 12 ein Steuersignal 77 aus, der das Erreichen des oberen Wendepunkts 15 durch den Schläger 4 anzeigt.

[0046] Das Auswerten der Druckänderung führt verfahrensbedingt zu einer geringfügigen Verzögerung bis das Erreichen, genauer das Überschreiten des oberen Wendepunkts 15, erfasst wird. Der Druck kann auch absolut erfasst und mit einem Schwellwert verglichen werden. Erreicht der Druck den Schwellwert, wird die Ausgabe des Steuersignals 77 getriggert. Der Druck in der pneumatischen Kammer 34 kann im oberen Wendepunkt 15 ausgemessen und als der Schwellwert in einer Tabelle der Auswertungsrichtung 76 hinterlegt sein. Der Schwellwert kann in Abhängigkeit verschiedener Betriebsbedingungen, insbesondere einer Temperatur in der pneumatischen Kammer 34, abgelegt sein. Die Auswertungsrichtung 76 ermittelt die vorliegende Betriebsbedingung, beispielsweise durch Abfragen eines Temperatursensors, und liest den zugehörigen Schwellwert aus der Tabelle aus. Die beiden Verfahren können redundant kombiniert werden und getrennt voneinander das Steuersignal 77 ausgeben.

[0047] Die Steuerung 12 beginnt die Beschleunigungsphase 68, wenn das Steuersignal 77 empfangen wird. Die Steuerung 12 setzt den Sollwert 60 für den Strom 48 auf einen zweiten Wert 78. Das Vorzeichen des zweiten Werts 78 ist derart gewählt, dass das untere Magnetfeld 50 der unteren Magnetspule 47 sich konstruktiv mit dem permanenten Magnetfeld 37 innerhalb des Führungsrohrs 27 überlagert. Es ergibt sich somit eine hohe Feldstärke in dem unteren Abschnitt 41 des Führungsrohrs 27. Der Strom 48 wird während der Beschleunigungsphase 68 in die untere Magnetspule 47 und vorzugsweise in die obere Magnetspule 46 eingespeist. Das permanente Magnetfeld 37 in dem oberen Abschnitt 39 wird durch das Magnetfeld 38 der oberen Magnetspule 46 innerhalb des Führungsrohrs 27 vor-

zugsweise gedämpft oder vollständig destruktiv ausgeglichen. Der Schläger 4 wird in das stärkere Magnetfeld in dem unteren Abschnitt 41 gezogen. Der Schläger 4 erfährt durchgehend während der Beschleunigungsphase 68 eine Beschleunigung in Schlagrichtung 5. Die bis zum Schlagpunkt 14 erreichte kinetische Energie ist etwa die Schlagenergie des Schlägers 4.

[0048] Eine alternatives oder zusätzliches Bestimmen des Erreichens des oberen Wendepunkts 15 basiert auf einer Änderung der in der oberen Magnetspule 46 induzierten Spannung aufgrund der Bewegung des Schlägers 4. Der Schläger 4 kann bereits vor Erreichen des oberen Wendepunkts 15 mit dem oberen Jochring 56 überlappen. Das Magnetfeld 49 des Ringmagnets 42 fließt im oberen Bereich 39 nahezu geschlossen ohne Luftspalt über den Schläger 4 in den oberen Jochring 56. Das Magnetfeld 50 des Ringmagnets 42 fließt im unteren Bereich 41 über einen großen Luftspalt zu dem unteren Jochring 57. Während der Bewegung des Schlägers 4 bis zu dem Wendepunkt 15 erhöht sich der Luftspalt im unteren Bereich 41 noch weiter, wodurch der Magnetfluss sich in dem oberen Bereich anteilmäßig erhöht. Sobald der Schläger 4 im Wendepunkt 15 umkehrt, verringert sich der Anteil des Magnetflusses im oberen Bereich 39. Die Änderung des Magnetflusses induziert in der oberen Magnetspule 46 eine Spannung. Charakteristisch für den Wendepunkt 15 ist ein Wechsel des Vorzeichens der induzierten Spannung. Die Stromquelle 51 regelt den Strom 48 vor dem Erreichen des Wendepunkts 15 vorzugsweise auf Null, um die Ruhephase 67 einzuhalten. Die Regelschleife passt fortwährend die Stellgröße 64 an, um den Stroms 48 gegen die induzierte Spannung auf Null zu halten. Auf den Wechsel des Vorzeichens der induzierten Spannung reagiert die Regelschleife 62 mit einer deutlich größeren Stellgröße 64. Das Steuersignal 77 kann somit beispielsweise bei Überschreiten eines Schwellwerts durch die Stellgröße 64 ausgelöst werden.

[0049] Der Betrag des zweiten Werts 78 ist vorzugsweise so abgestimmt, dass das obere Magnetfeld 49 gerade das permanente Magnetfeld 37 destruktiv kompensiert oder auf wenigstens 10 % dessen Feldstärke absenkt. Der Strom 48 in den Magnetspulen 46, 47 steigt am Beginn der Beschleunigungsphase 68 auf den Sollwert 60 an. Eine Schaltflanke ist beispielsweise nur durch eine Zeitkonstante vorgegeben, welche sich aufgrund der Induktivität der Magnetspulen 46, 47 und der Rückwirkung des Schlägers ergibt. Die Steuerung 12 hält den Sollwert 60 während der Beschleunigungsphase 68 vorzugsweise durchgehend auf dem zweiten Wert 78.

[0050] Die Luftfeder 23 unterstützt die Beschleunigung des Schlägers 4 in die Schlagrichtung 5. Dabei wird in der Luftfeder 23 gespeicherte potentielle Energie weitgehend in kinetische Energie des Schlägers 4 umgewandelt. Im Schlagpunkt 14 ist die Luftfeder 23 vorzugsweise vollständig entspannt. Nahe dem Schlagpunkt 14 wird die Belüftungsöffnung 36 von dem Schläger 4 freigegeben. Die Belüftungsöffnung 36 führt zu einer Schwächung der Luftfeder 23 ohne deren Wirkung auf den

Schläger 4 vollständig auf Null abzusenken. Die Luftfeder 23 hat zu diesem Zeitpunkt jedoch bereits deutlich mehr als 90 % ihrer potentiellen Energie auf den Schläger 4 übertragen.

5 [0051] Die Steuerung 12 triggert das Ende der Beschleunigungsphase 68 basierend auf einem Anstieg 79 des Stroms 48 in der unteren Magnetspule 47 bzw. des von der Stromquelle 51 eingespeisten Stroms 48. Während sich der Schläger 4 bewegt, ergibt sich aufgrund der elektromagnetischen Induktion über der unteren Magnetspule 47 ein Spannungsabfall, gegen den die Stromquelle 51 den Strom 48 einspeist. Mit dem Schlag und dem stehenden Schläger 4 verschwindet schlagartig der Spannungsabfall. Der Strom 48 erhöht sich kurzzeitig, bis die geregelte Stromquelle 51 den Strom 48 wieder auf den Sollwert 60 einregelt.

10 [0052] Ein Stromsensor 80 kann den in der unteren Magnetspule 47 umlaufenden Strom 48 erfassen. Ein zugehöriger Diskriminator 81 vergleicht den gemessenen Strom 48 mit einem Schwellwert und gibt bei Überschreiten des Schwellwerts ein Endsignal 82 aus. Das Endsignal 82 zeigt der Steuerung 12 an, dass der Schläger 4 auf den Döpper 13 aufgeschlagen hat. Der Schwellwert ist beispielsweise in Abhängigkeit des zweiten Werts 78 gewählt, d.h. dem Sollwert 60 für die Beschleunigungsphase 68. Der Schwellwert kann um 5 % bis 10 % größer als der zweite Wert 78 sein. Alternativ oder zusätzlich zu einer Erfassung des absoluten Stroms 48 kann eine Änderungsrate des Stroms 48 mit dem Stromsensor 80 erfasst und mit dem Diskriminator 81 gegen einen Schwellwert für die Änderungsrate verglichen werden.

15 [0053] Die Stromquelle 51 wirkt mit ihrem Regelkreis 61 dem Anstieg 79 des Stroms 48 in dem Stromkreis 83 entgegen. Dabei ändert sich die Stellgröße 64. Anstelle oder zusätzlich zu einer Änderung des Stroms 48 kann auch die Stellgröße 64 überwacht werden. Es kann sowohl der absolute Wert oder vorzugsweise eine Änderungsrate der Stellgröße 64 mit einem Schwellwert verglichen werden und darauf ansprechend das Endsignal 82 ausgegeben werden.

20 [0054] Mit Erhalt des Endsignals 82 beendet die Steuerung 12 die Beschleunigungsphase 68. Der Sollwert 60 wird auf Null gesetzt. Entsprechend verringert sich die Stromabgabe der Stromquelle 51 auf einen Strom 48 gleich Null. Der Schläger 4 wird nicht weiter in die Schlagrichtung 5 beschleunigt.

25 [0055] Die Steuerung 12 kann unmittelbar anschließend an die Beschleunigungsphase 68 oder nach einer Pause die nächste aktive Rückholphase 66 beginnen.

Patentansprüche

- 30 1. Steuerungsverfahren für eine Werkzeugmaschine mit einer Werkzeugaufnahme (6), die eingerichtet ist ein meißelndes Werkzeug (7) längs

einer Bewegungsachse (3) beweglich zu lagern und einem magneto-pneumatischen Schlagwerk (2),

das einen primären Antrieb (22), der um die Bewegungsachse (3) angeordnet wenigstens eine Magnetspule (46, 47) beinhaltet, und das auf der Bewegungsachse (3) radial innerhalb der wenigstens einen Magnetspule (46, 47) und in Schlagrichtung (5) aufeinanderfolgend einen Schläger (4) und einen Döpper (13) aufweist, wobei der Döpper (13) wenigstens teilweise in die Magnetspule (47) und/oder in ein an der Magnetspule (47) anliegendes Joch (57) hineinragt,

das eine geregelte Stromquelle (51) aufweist, die in einen Stromkreis mit der wenigstens einen Magnetspule (47) geschaltet ist,

wobei eine Steuerung (12) während einer Beschleunigungsphase (68) mittels der Stromquelle (51) einen auf einen Sollwert (60) geregelten Strom (48) in die wenigstens eine Magnetspule (46, 47) einspeist, und

dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung (12) die Beschleunigungsphase (68) beendet, wenn eine Änderung des in der Magnetspule (46, 47) fließenden Stroms (48) oder eine Änderung einer Stellgröße (64) des Regelkreises (61) der Stromquelle (51) mit einem zu einem Schlag des Schlägers (4) auf den Döpper (13) abgelegten Mustern für die Änderung übereinstimmt.

2. Steuerungsverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerung (12) die Beschleunigungsphase (68) beendet, wenn eine Änderungsrate des fließenden Stroms (48) und/oder die Stellgröße (64) des Regelkreises (61) einen Schwellwert überschreiten.

3. Steuerungsverfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerung (12) beim Beenden der Beschleunigungsphase (68) den Sollwert (60) auf Null setzt.

4. Steuerungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Stromsensor (80) den in der Magnetspule (47) fließenden Strom (48) misst und ein Diskriminator (81) das Beenden der Beschleunigungsphase (68) triggert, wenn der gemessene Strom (48) einen Schwellwert überschreitet.

5. Steuerungsverfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schwellwert zwischen 5 % und 10 % größer als der Sollwert (60) ist.

6. Steuerungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**

die geregelte Stromquelle (51) einen Regelkreis (61) aufweist und ein Diskriminator das Beenden der Beschleunigungsphase (68) triggert, wenn eine Stellgröße (64) in dem Regelkreis (61) einen Schwellwert überschreitet.

7. Steuerungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der primäre Antrieb (22), um die Bewegungsachse (3) angeordnet und in Schlagrichtung (5) aufeinanderfolgend eine erste Magnetspule (46), einen permanent und radial magnetisierten Ringmagnet (42) und eine zweite Magnetspule (47) beinhaltet, innerhalb denen die Luftfeder (23), der Schläger (4) und der Döpper (13) angeordnet sind, wobei während der Beschleunigungsphase (68) die Stromquelle (51) in die erste Magnetspule (46) und die zweite Magnetspule (47) einen Strom (48) einspeist, derart dass ein von der ersten Magnetspule (46) innerhalb der ersten Magnetspule (46) erzeugtes erstes Magnetfeld (49) in der Beschleunigungsphase (68) destruktiv mit dem Magnetfeld (37) des Ringmagnets (42) überlagert ist und ein von der zweiten Magnetspule (47) innerhalb der zweiten Magnetspule (47) erzeugtes zweites Magnetfeld (50) in der Beschleunigungsphase (68) konstruktiv mit dem Magnetfeld (37) des Ringmagnets (42) überlagert ist.

8. Werkzeugmaschine mit einer Werkzeugaufnahme (6), die eingerichtet ist ein meißelndes Werkzeug (7) längs einer Bewegungsachse (3) beweglich zu lagern und einem magneto-pneumatischen Schlagwerk (2),

das einen primären Antrieb (22), der um die Bewegungsachse (3) angeordnet wenigstens eine Magnetspule (46, 47) beinhaltet, und das auf der Bewegungsachse (3) radial innerhalb der wenigstens einen Magnetspule (46, 47) und in Schlagrichtung (5) aufeinanderfolgend einen Schläger (4) und einen Döpper (13) aufweist, wobei der Döpper (13) wenigstens teilweise in die Magnetspule (47) und/oder ein Joch (56, 57) der Magnetspule (46, 47) hineinragt, einer geregelten Stromquelle (51), die mit der wenigstens einen Magnetspule (47) zu einem Stromkreis (83) geschaltet ist, einer Steuerung (12), die während einer Beschleunigungsphase (68) mittels der Stromquelle (51) einen auf einen Sollwert (60) geregelten Strom (48) in die wenigstens eine Magnetspule (46, 47) einspeist, und **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerung (12) die Beschleunigungsphase (68) beendet, wenn die Steuerung (12) eine für einen Schlag typische Änderung des in der Magnetspule (46, 47) fließenden Stroms (48) oder eine für einen Schlag typische Änderung einer

Stellgröße (64) des Regelkreises (61) der Stromquelle (51) detektiert.

Claims

1. Control method for a machine tool with a tool holder (6), which is set up for mounting a chiselling tool (7) so that it may move along a movement axis (3), and a magneto-pneumatic striking mechanism (2),

which has a primary drive (22), which contains at least one magnetic coil (46, 47) arranged around the movement axis (3), and which has a striker (4) and a riveting pin (13) on the movement axis (3) radially within the at least one magnetic coil (46, 47) and one following the other in the striking direction (5), in which the riveting pin (13) projects at least partly into the magnetic coil (47) and/or into a yoke (57) fitting closely on the magnetic coil (47), which has a regulated power source (51), which is connected in an electric circuit with the at least one magnetic coil (47),

in which during an acceleration phase (68) a control (12) feeds a current (48) regulated at a nominal value (60) into the at least one magnetic coil (46, 47) by means of the power source (51), and

characterised in that the control (12) ends the acceleration phase (68), if a change in the current (48) flowing in the magnetic coil (46, 47) or a change in a control variable (64) of the control circuit (61) of the power source (51) matches a pattern filed for a strike by the striker (4) on the riveting pin (13) for the change.

2. Control method according to claim 1, **characterised in that** the control (12) ends the acceleration phase (68), if a change rate of the current (48) flowing and/or the control variable (64) of the control circuit (61) exceed(s) a threshold value.
3. Control method according to claim 1 or 2, **characterised in that** the control (12) sets the nominal value (60) at zero on ending the acceleration phase (68).
4. Control method according to one of the previous claims, **characterised in that** a current sensor (80) measures the current (48) flowing in the magnetic coil (47) and a discriminator (81) triggers the ending of the acceleration phase (68), if the current (48) measured exceeds a threshold value.
5. Control method according to claim 4, **characterised in that** the threshold value is between 5% and 10% larger than the nominal value (60).

6. Control method according to one of the previous claims, **characterised in that** the regulated power source (51) has a control circuit (61) and a discriminator triggers the ending of the acceleration phase (68), if a control variable (64) in the control circuit (61) exceeds a threshold value.

7. Control method according to one of the previous claims, **characterised in that** the primary drive (22) contains a permanently and radially magnetised ring magnet (42) and a second magnetic coil (47) arranged around the movement axis (3) and one following the other in the striking direction (5), within which the air spring (23), the striker (4) and the riveting pin (13) are arranged, in which during the acceleration phase (68) the power source (51) feeds a current (48) into the first magnetic coil (46) and the second magnetic coil (47) in such a way that a first magnetic field (49) produced by the first magnetic coil (46) within the first magnetic coil (46) is overlapped destructively with the magnetic field (37) of the ring magnet (42) in the acceleration phase (68) and a second magnetic field (50) produced by the second magnetic coil (47) within the second magnetic coil (47) is overlapped constructively with the magnetic field (37) of the ring magnet (42) in the acceleration phase (68).

8. Machine tool with a tool holder (6), which is set up for mounting a chiselling tool (7) so that it may move along a movement axis (3), and a magneto-pneumatic striking mechanism (2),

which has a primary drive (22), which contains at least one magnetic coil (46, 47) arranged around the movement axis (3), and which has a striker (4) and a riveting pin (13) on the movement axis (3) radially within the at least one magnetic coil (46, 47) and one following the other in the striking direction (5), in which the riveting pin (13) projects at least partly into the magnetic coil (47) and/or a yoke (56, 57) of the magnetic coil (46, 47), a regulated power source (51), which is connected to an electric circuit (83) with the at least one magnetic coil (47), a control (12), which during an acceleration phase (68) feeds a current (48) regulated at a nominal value (60) into the at least one magnetic coil (46, 47) by means of the power source (51), and **characterised in that**

55 Revendications

1. Procédé de commande pour une machine-outil comportant

un porte-outil (6) équipé pour monter un outil à buriner (7) de manière mobile le long d'un axe de déplacement (3) et un mécanisme de percussion magnéto- pneumatique (2),

lequel mécanisme de percussion comporte un entraînement primaire (22) agencé autour de l'axe de déplacement (3) et contenant au moins une bobine magnétique (46, 47), et lequel mécanisme de percussion comporte un percuteur (4) et une enclume (13) agencés radialement à l'intérieur de la au moins une bobine magnétique (46, 47) sur l'axe de déplacement (3) et successivement dans une direction d'impact (5), dans lequel l'enclume (13) fait saillie au moins partiellement dans la bobine magnétique (47) et/ou dans une culasse (57) en contact avec la bobine magnétique (47),

laquelle machine-outil comporte une source de courant régulée (51) raccordée à au moins une bobine magnétique (47) dans un circuit, dans lequel une commande (12) délivre, au moyen de la source de courant (51), un courant (48) régulé à une valeur de consigne (60) dans la au moins une bobine magnétique (46, 47) pendant une phase d'accélération (68), et

caractérisé en ce que la commande (12) met fin à la phase d'accélération (68) lorsqu'une variation du courant (48) circulant dans la bobine magnétique (46, 47) ou qu'une variation d'une grandeur de réglage (64) de la boucle de régulation (61) de la source de courant (51) concorde avec un modèle mémorisé de la variation lors d'un impact du percuteur (4) sur l'enclume (13).

2. Procédé de commande selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la commande (12) met fin à la phase d'accélération (68) lorsqu'une vitesse de variation du courant en circulation (48) et/ou la grandeur de réglage (64) de la boucle de régulation (61) dépasse une valeur de seuil.
3. Procédé de commande selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** la commande (12) fixe la valeur de consigne (60) à zéro à la fin de la phase d'accélération (68).
4. Procédé de commande selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**un capteur de courant (80) mesure le courant (48) circulant dans la bobine magnétique (47) et un discriminateur (81) déclenche la fin de la phase d'accélération (68) lorsque le courant (48) mesuré franchit une valeur de seuil.
5. Procédé de commande selon la revendication 4, **ca-**

ractérisé en ce que la valeur de seuil est de 5 % à 10 % supérieure à la valeur de consigne (60).

- 5 6. Procédé de commande selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la source de courant régulée (51) comporte une boucle de régulation (61) et un discriminateur déclenche la fin de la phase d'accélération (68) lorsqu'une grandeur de réglage (64) dans la boucle de régulation (61) franchit une valeur de seuil.
- 10 7. Procédé de commande selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'entraînement primaire (22), agencé autour de l'axe de déplacement (3), contient successivement dans la direction d'impact (5) une première bobine magnétique (46), un aimant annulaire permanent et radialement magnétisé (42) et une seconde bobine magnétique (47), entraînement primaire à l'intérieur duquel un ressort pneumatique (23), le percuteur (4) et l'enclume (13) sont agencés, dans lequel la source de courant (51) délivre un courant (48) dans la première bobine magnétique (46) et dans la seconde bobine magnétique (47) pendant la phase d'accélération (68), de telle sorte qu'un premier champ magnétique (49) généré par la première bobine magnétique (46) à l'intérieur de la première bobine magnétique (46) est superposé de manière destructive lors de la phase d'accélération (68) au champ magnétique (37) de l'aimant annulaire (42), et un second champ magnétique (50) généré par la seconde bobine magnétique (47) à l'intérieur de la seconde bobine magnétique (47) est superposé de manière constructive pendant la phase d'accélération (68) au champ magnétique (37) de l'aimant annulaire (42).
- 15 20 25 30 35 8. Machine-outil comportant un porte-outil (6) équipé pour monter un outil à buriner (7) de manière mobile le long d'un axe de déplacement (3) et un mécanisme de percussion magnéto-pneumatique (2), lequel mécanisme de percussion comporte un entraînement primaire (22) agencé autour de l'axe de déplacement (3) et contenant au moins une bobine magnétique (46, 47), et lequel mécanisme de percussion comporte un percuteur (4) et une enclume (13) agencés radialement à l'intérieur de la au moins une bobine magnétique (46, 47) sur l'axe de déplacement (3) et successivement dans la direction d'impact (5), dans lequel l'enclume (13) fait saillie au moins partiellement dans la bobine magnétique (47) et/ou une culasse (56, 57) de la bobine magnétique (46, 47), une source de courant régulée (51) raccordée à un

circuit électrique (83) avec la au moins une bobine magnétique (47),
une commande (12) qui délivre, au moyen de la source de courant (51), un courant (48) régulé à une valeur de consigne (60) dans la au moins une bobine magnétique (46, 47) pendant la phase d'accélération (68), et

caractérisée en ce que

la commande (12) met fin à la phase d'accélération (68) lorsque la commande (12) détecte une variation du courant (48) circulant dans la bobine magnétique (46,47) typique d'un impact ou une variation d'une grandeur de réglage (64) de la boucle de régulation (61) de la source de courant (51) typique d'un impact.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

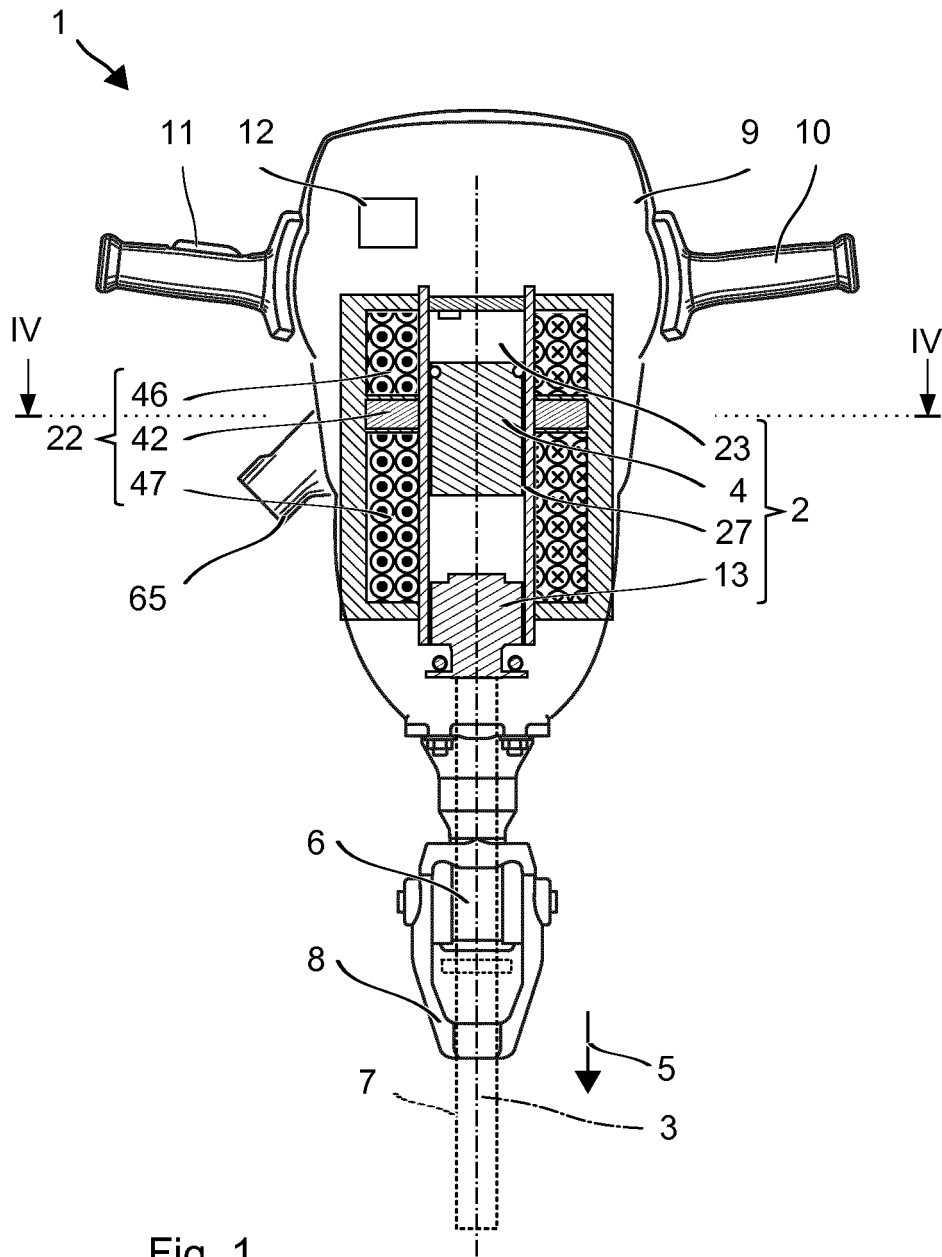


Fig. 1

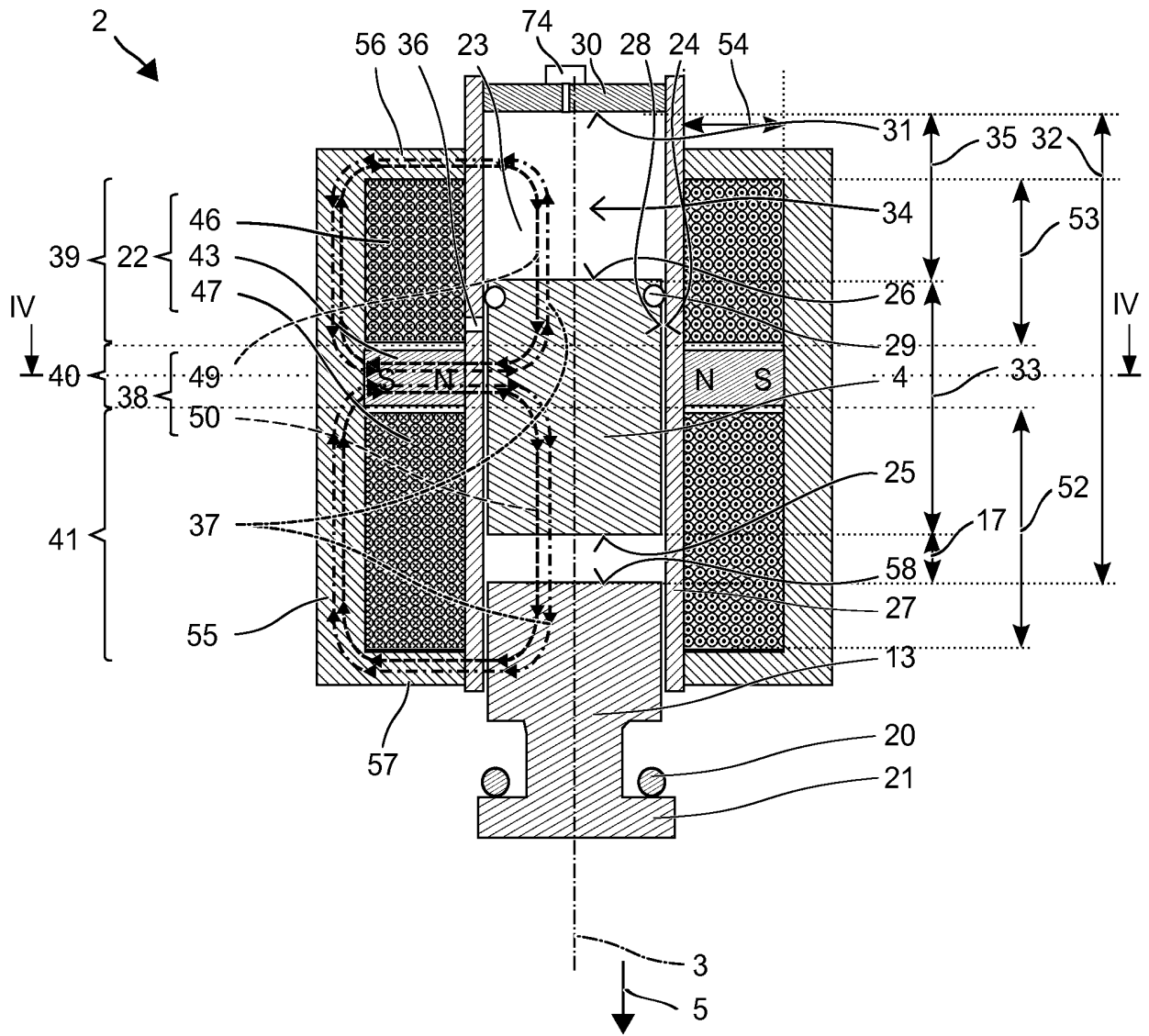


Fig. 2

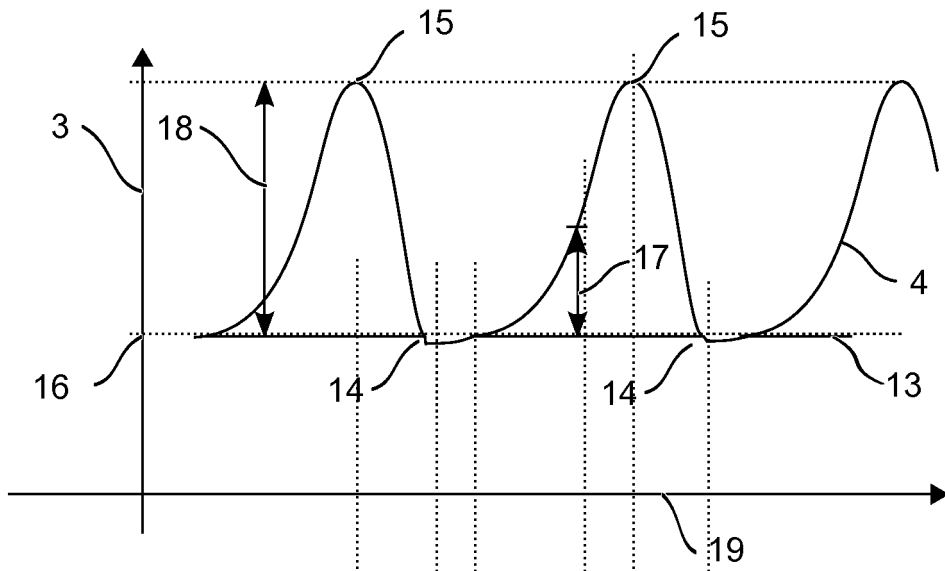


Fig. 3

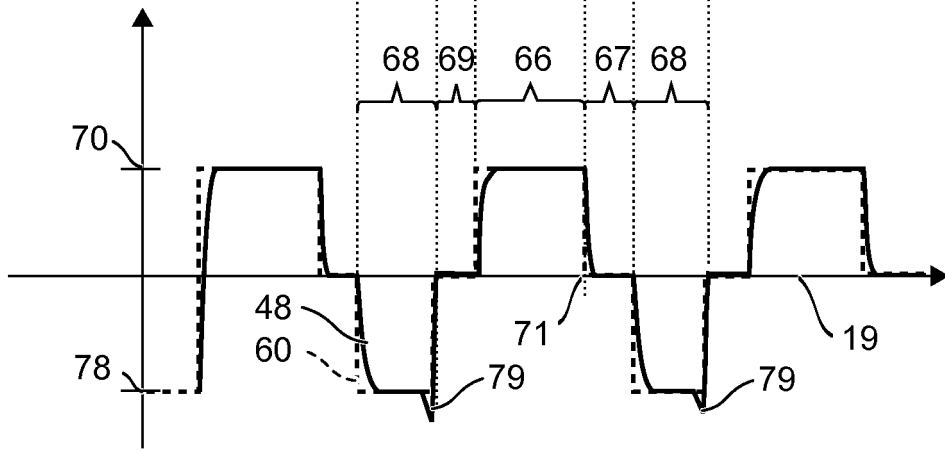


Fig. 6

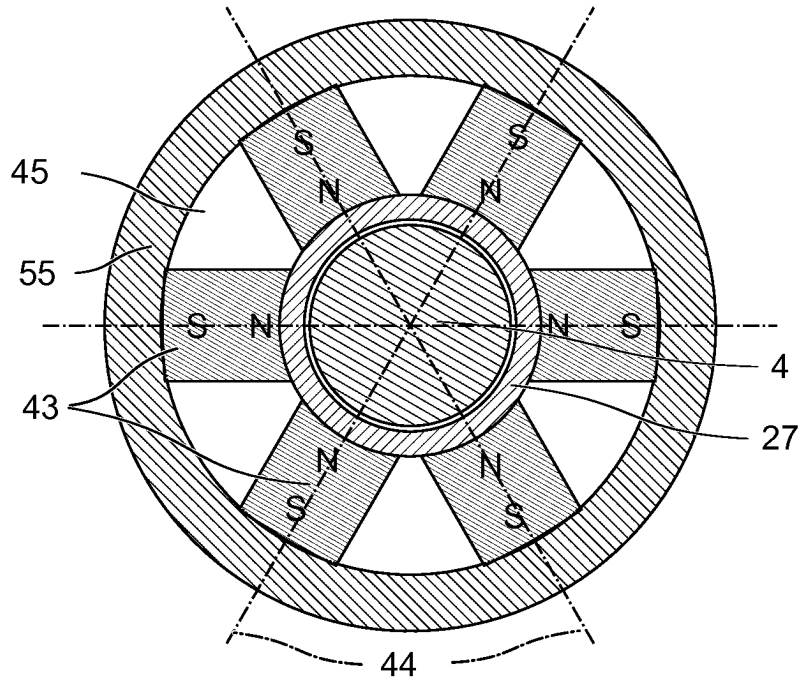


Fig. 4

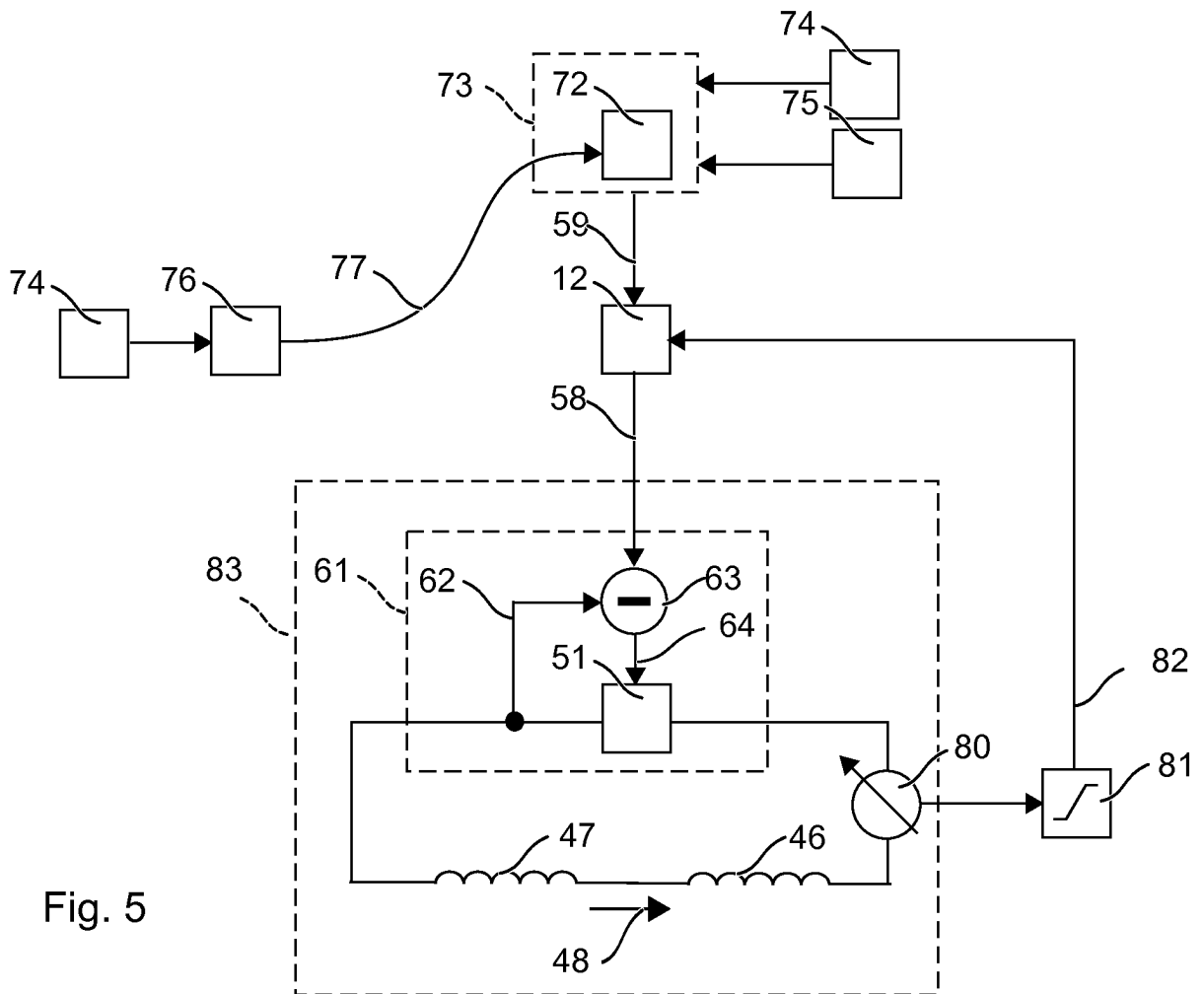


Fig. 5

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 20100206593 A [0001] [0002]