



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
21.12.2005 Patentblatt 2005/51

(51) Int Cl.7: **B25D 11/00, B25D 11/12**

(21) Anmeldenummer: **04102795.4**

(22) Anmeldetag: **18.06.2004**

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

- **Schmitzer, Harald**
9470, Werdenberg (CH)
- **Schaer, Roland**
9472, Grabs (CH)

(71) Anmelder: **HILTI Aktiengesellschaft**
9494 Schaan (LI)

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

(72) Erfinder:
 • **Würsch, Christoph**
9470, Werdenberg (CH)

(54) **Elektropneumatischer Bohr-/Meisselhammer mit veränderbarer Schlagenergie**

(57) Erfindungsgegenstand ist ein Bohr- und/oder Meisselhammer mit elektropneumatischem Schlagwerk, das einen in einem Führungsrohr (16) durch einen elektromotorisch angetriebenen Erregerkolben (3) über eine Luftfeder (20) verschieblichen Flugkolben (4) und einen durch diesen schlagend angetriebenen Döpper (5) aufweist, der auf ein Schlagwerkzeug wirkt. Erfindungsgemäß wird nach Vorgabe eines Betriebsmodus

und gegebenenfalls weiterer Eingangs- oder Sollwerte die Energie eines Einzelschlags des Schlagwerks dadurch geregelt, dass eine Sensoreinrichtung (11) eine zur aktuellen Einzelschlagenergie korrelierte Größe erfasst, die über eine Regeleinrichtung einen Aktuator, beispielsweise für ein Ventil zur Regulierung des Drucks in der Luftfeder (20), zur Änderung der Schlagenergie beaufschlagt.

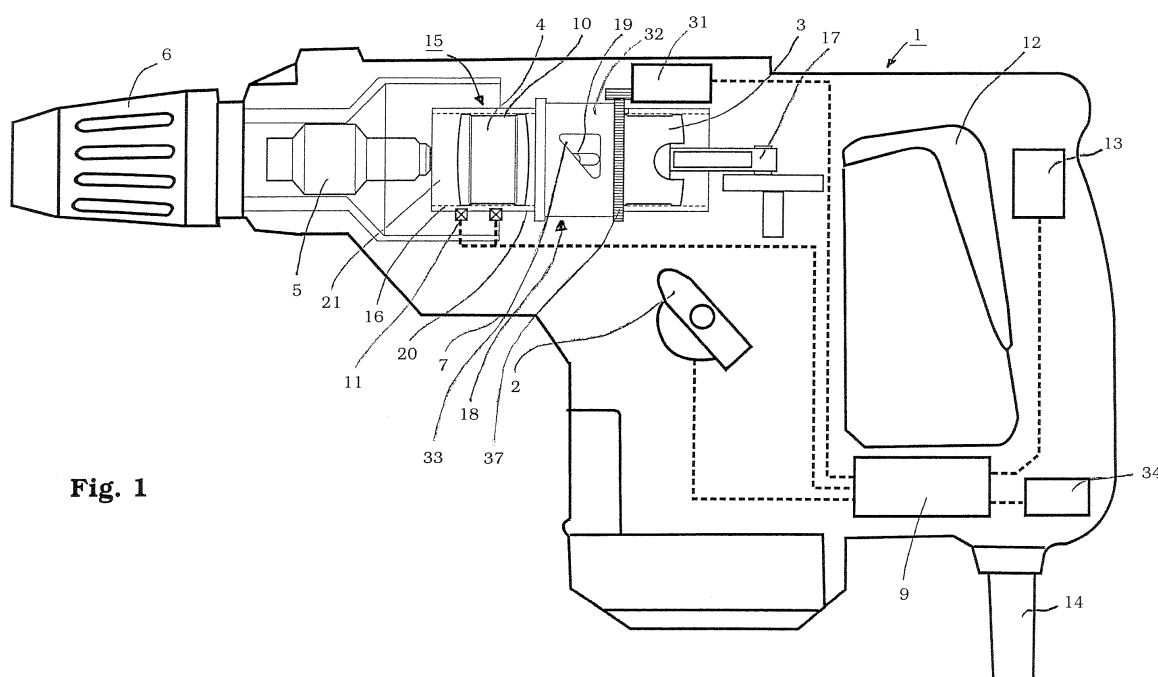


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Bohr- und/oder Meisselhammer mit elektropneumatischem Schlagwerk, dessen Schlagenergie veränderbar ist.

[0002] Bekannt sind drei grundsätzliche Möglichkeiten, um die Schlagenergie von elektropneumatischen Schlagwerken für Abbaugeräte der genannten Art einzustellen.

(a) Drehzahleinstellung

[0003] Eine erste Möglichkeit besteht darin, die Schlagenergie des Schlagwerks über die Drehzahl des Antriebsmotors einzustellen. So wird beispielsweise bei Kombi-Hämmern im Meisselmodus die Motordrehzahl erhöht, um in diesem Modus eine maximale Leistung aus dem Abbaugerät ziehen zu können. Im Hammerbohr-Modus dagegen wird die Leistung des Motors in etwa zwei gleich große Anteile aufgeteilt.

[0004] Je zur Hälfte wird das Moment des Motors für den Drehantrieb einerseits und für das Schlagwerk andererseits verwendet. Im Meisselmodus wird der Drehantrieb nicht benötigt, so dass die Drehantriebsleistung zusätzlich dem Schlagwerk zugeführt werden kann. Dazu wird die Drehzahl erhöht, so dass die Druckspitzen und somit die kinetische Energie beispielsweise eines auf einen Schlagkolben wirkenden Flugkolbens erhöht wird. Die Folge ist eine höhere Einzelschlagenergie. Grundsätzlich bekannt ist es auch, die Drehzahl und damit die Schlagleistung durch aktive Umschaltung des Gerätebenutzers zu reduzieren, um einen Feinschlag zu realisieren.

(b) Veränderbare Luftöffnungen im Schlagwerk

[0005] Eine andere Möglichkeit zur Änderung der Schlagenergie besteht darin, in die den Flugkolben beaufschlagende Luftfeder des elektropneumatischen Schlagwerks eine definierte Leckage oder einen definierten Luftaustausch mit einem abgeschlossenen größeren Außenvolumen herzustellen. Dies geschieht meist durch Vergrößern bzw. Verkleinern von definierten Schnauföffnungen. Man erreicht dadurch bei konstanter Arbeitsfrequenz eine Absenkung der Schlagenergie. So empfiehlt DE 34 23 493 C2 zur Einstellung der Schlagenergie bei Bohrhämmern das auf den Flugkolben wirkende Schlagpolster durch Zu-/Abschalten von am Umfang eines Führungszyinders für den Flug- und Schlagkolben in einer Ebene senkrecht zur Zylinderachse verteilte Ausgleichsbohrungen über einen Stellknopf manuell zu verändern. Eine andere Möglichkeit ist in DE 39 23 134 A1 beschrieben, in der für ein pneumatisches Schlagwerk vorgeschlagen wird, den Weg des Flugkolbens durch Einstellung der Wirkungslänge einer auf diesen wirkenden Luftfeder zu verändern. Dazu weist der Führungszyylinder im Bereich der Luftfeder Öffnungen auf, die durch eine axial verschiebbare, mit Durchbrüchen versehene Hülse, die gleichzeitig als federbelastete Abstützung für den Schlagkolben (Döpper) dient, veränderbar sind. Durch einen Drehknopf lassen sich die Durchbrüche mehr oder weniger auf die Öffnungen ausrichten, um so die Schlagstärke zu verstellen.

(c) Änderung des Pleuelhubs eines Kompressionskolbens

[0006] Die dritte Möglichkeit besteht darin, den Hub des Pleuels des Kompressionskolbens für die auf den Flugkolben wirkende Luftfeder über ein Zykloiden- oder Planetengetriebe zu verstellen (vgl. EP 0 063 725 A2). Bei verringertem Hub des Pleuels wird der Flugkolben weniger stark beschleunigt. Dies führt zu einer geringeren Schlagenergie. Die Verstellung des Pleuelhubs erfolgt mechanisch durch einen vom Gerätebenutzer zu betätigenden Stellgriff.

[0007] Diese drei grundsätzlich bekannten Möglichkeiten zur Veränderung der Schlagenergie sind mit folgenden Einschränkungen bzw. Nachteilen behaftet:

[0008] Bei der Möglichkeit (a) (Drehzahleinstellung) ist die Schlagenergie an die Schlagfrequenz gekoppelt. Eine Änderung der Schlagenergie bringt immer eine Änderung der Schlagfrequenz mit sich. Bei den höchsten Schlagfrequenzen erzielt man die höchste Schlagenergie. Für viele Anwendungen ist dies jedoch genau die falsche Richtung. Für eine gute Abbaueffizienz bei hoher Lebensdauer der Werkzeuge benötigt man hohe Schlagfrequenzen bei niedrigen Schlagenergien und umgekehrt, um eine optimale Abbauleistung zu erzielen.

[0009] Die Möglichkeiten (b) (veränderbare Luftöffnungen im Schlagwerk) und (c) (Veränderung des Pleuelhubs) erlauben zwar eine teilweise Entkopplung von Schlagenergie und Schlagfrequenz. Bei der Methode (b) lassen sich allerdings in der Regel nur zwei Schlagenergien wählen bzw. einstellen. Durch eine verschiebbare Hülse werden einzelne Schnauföffnungen geöffnet oder geschlossen. Die Methode (c) ist mechanisch relativ aufwändig.

[0010] Allen drei im Stand der Technik bekannten Möglichkeiten ist gemeinsam, dass die Schlagenergie des Schlagwerks nur eingestellt wird und sich nach Veränderung der Einstellung mit einer gewissen Streuung auf einen Betriebswert einstellt. Dieser Betriebswert ist jedoch nicht nur von der Temperatur und dem jeweiligen Schmierzustand des Schlagwerks abhängig, sondern auch stark von dessen Alter. Je undichter die Dichtungen im Schlagwerk werden, desto geringer wird die Einzelschlagenergie. Je höher die Temperatur, desto höher wird die Einzelschlagenergie.

[0011] Der Erfindung liegt damit die Aufgabe zugrunde, ein elektropneumatisches Schlagwerk für Bohr-/Meisselhämmer zu schaffen, deren Einzelschlagenergie sich in einem weiten Frequenzbereich unabhängig von der Schlagfrequenz wählen, regeln bzw. einstellen lässt, um so einen für jeden Untergrund optimalen Abbau zu erreichen.

[0012] Diese Aufgabe wird für einen Bohr-/Meisselhammer mit elektropneumatischem Schlagwerk dadurch gelöst, dass zur Änderung der Schlagenergie erfindungsgemäß eine Sensoreinrichtung, welche die Einzelschlagenergie bzw. eine dazu korrelierte Größe erfasst sowie eine Regeleinrichtung vorhanden sind, in welcher die der Einzelschlagenergie entsprechende Größe gegen einen Sollwert verglichen und ein Stellwert generiert wird, der eine Stelleinrichtung zur Nachführung der Einzelschlagenergie auf den Sollwert beaufschlagt.

[0013] Das elektropneumatische Schlagwerk umfasst vorzugsweise in einem Führungsrohr oder Führungszylinder ein über ein elektromotorisch angetriebenes Pleuel durch einen Verdichterkolben, auch Erregerkolben genannt, komprimiertes Luft-Stoßpolster, hier als "Luftfeder" bezeichnet, das einen verschieblichen Flugkolben beaufschlagt, sowie einen am abtriebsseitigen Ende des Führungsrohrs durch dieses geführten Schlagkolben oder Döpper, der z. B. über ein Luft-Druckpolster ("Druckpolster" im Folgenden) oder direkt auf ein Schlagwerkzeug wirkt.

[0014] Die Sensoreinrichtung sowie die Regelung der Einzelschlagenergie und die Stelleinrichtung zur Nachführung der Einzelschlagenergie können - wie in abhängigen Patentansprüchen definiert und nachfolgend noch näher erläutert - in unterschiedlichen Ausführungsvarianten realisiert sein.

[0015] Durch die erfindungsgemäße Regelung wird eine exakte Einhaltung einer gewünschten Einzelschlagenergie unabhängig von der Temperatur oder dem jeweiligen Zustand des Schlagwerks ermöglicht. Die Einzelschlagenergie kann in einem weiten Frequenzbereich, und zwar unabhängig von der Schlagfrequenz gewählt werden. So lässt sich beispielsweise zur Bearbeitung von Fliesen eine niedrige Schlagenergie bei hoher Schlagfrequenz von beispielsweise 100 Hz wählen, während man zum Meissel- bzw. Hammerbohren von Beton häufig die maximale Schlagenergie bei relativ geringer Schlagfrequenz von beispielsweise 30 bis 60 Hz wünscht.

[0016] Die im Patentanspruch 1 definierte Erfindung bezieht sich also auf einen elektropneumatischen Bohr- oder Meisselhammer mit elektronischer Einzelschlagregelung, bei dem die Einzelschlagenergie oder (eine) zur Einzelschlagenergie korrelierte Größe(n) durch einen Sensor erfasst, in einer digitalen oder analogen Regelung verarbeitet und mit einer Sollgröße verglichen werden, um einen Stellwert für einen Aktuator zu generieren, der die Einzelschlagenergie auf den Sollwert regelt. Vorzugsweise ist der Regler ein PI-Regler.

[0017] Die abhängigen Patentansprüche definieren vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung.

[0018] Der Sensor kann beispielsweise ein Geschwindigkeitssensor sein, der die Geschwindigkeit des Flugkolbens in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung erfasst. Zu diesem Zweck kann beispielshalber der Flugkolben mit Umfangsrillen oder kontrastierenden, axial aufeinander folgenden Ringen versehen sein, deren zeitliche Aufeinanderfolge beim Vorbeiflug des Kolbens durch einen am oder im Führungsrohr gehaltenen Hall-Sensor, insbesondere einen differenziellen Hall-Sensor oder auch einen optischen Sensor erfasst werden. Die Differenz der kinetischen Energie bei Vor- und Rückflug des Flugkolbens ist ein Maß für die Einzelschlagenergie.

[0019] Eine andere vorteilhafte Möglichkeit die Einzelschlagenergie zu ermitteln, besteht im Einsatz eines magneto-elastischen Sensors, der die Stoßwelle im Döpper oder im Flugkolben mittels des magneto-elastischen Effekts erfasst.

[0020] Vorteilhaft ist es, zur Nachführung der Einzelschlagenergie die Schlagfrequenz, d. h. die Motordrehzahl, als Ausgangsgröße des Reglers vorzusehen. Eine andere Möglichkeit der Einzelschlagenergie-Regelung besteht darin, bei fixer und in einem der Praxis entsprechenden Betriebsbereich frei wählbarer Schlagfrequenz durch ein steuerbares Ventil den Druck oder eine Leckage der Luftfeder zu ändern bzw. zu regeln. Dieses Ventil kann ein elektromagnetisch oder piezoelektrisch betätigbares Ventil sein. Bei Meisselhämmern oder bei Bohrhämmern, bei welchen die Rotationsbewegung nicht über das Führungsrohr direkt übertragen wird, kann das Ventil direkt am oder im Führungsrohr angebracht werden, um das Totvolumen klein zu halten. Bei Bohrhämmern andererseits, bei denen der Drehantrieb über das Führungsrohr erfolgt, ist eine rotatorische Entkopplung zwischen dem Führungsrohr und dem umgebenen Gehäuse notwendig. Dazu kann z. B. eine gedichtete Hülse um rotatorisch oder axial verstellbare Luftablassöffnungen im Führungsrohr vorgesehen sein.

[0021] Die Erfindung und vorteilhafte Ausführungsformen und Ergänzungen werden nachfolgend unter Bezug auf die Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 die schematische Darstellung eines Bohr-/Meisselhammers, dessen elektropneumatisches Schlagwerk erfindungsgemäß geregelt ist;

Fig. 2 eine Funktions-Blockbilddarstellung zur Veranschaulichung der erfindungsgemäßen Regelung der Einzelschlagenergie über unterschiedliche Ventilsteuerungen;

Fig. 3 eine Funktionsbilddarstellung für die Einzelschlag-Energieregulierung über Ventile;

Fig. 4 eine Ausführungsvariante der Erfindung, bei der die Flugkolbengeschwindigkeit mittels zweier durch Per-

manentmagneten vorgespannter digitaler Hall-Schalter oder differenzieller Hall-Sensoren bestimmt wird;

Fig. 5 zwei zeitkorrelierte Signaldiagramme zur Veranschaulichung der Bestimmung der Flugkolbengeschwindigkeit aus den Sensorsignalen zweier digitaler Hall-Schalter;

Fig. 6 die zeitkorrelierte Darstellung der Signale zweier differenzieller Hall-Sensoren zur Messung der Fluggeschwindigkeit (oben), den Signalverlauf nach Durchlaufen einer Komparatorschaltung mit Schwelle (Mitte) und des Signalverlaufs am Ausgang einer nachgeschalteten Flip-Flop-Triggerschaltung (unten);

Fig. 7 die schematische Darstellung eines elektropneumatischen Schlagwerks, bei dem die Position und Geschwindigkeit eines Flugkolbens mittels eines Hall-Arrays bestimmt werden;

Fig. 8 mit Teilfiguren 8A und 8B die schematische Darstellung eines elektropneumatischen Schlagwerks, bei dem die Flugkolbengeschwindigkeit nach dem Prinzip der Induktion bestimmt wird;

Fig. 9 die schematische Darstellung eines elektropneumatischen Schlagwerks, bei dem die Flugkolbenposition mittels eines LVD-Transformators bestimmt wird;

Fig. 10 die schematische Darstellung eines elektropneumatischen Schlagwerks, bei dem die Flugkolbenposition und die -geschwindigkeit mittels eines Abstandssensors bestimmt werden, der senkrecht zur Bewegungsrichtung des Flugkolbens angebracht ist;

Fig. 11 eine Funktions-Block-Übersichtsdarstellung zur Veranschaulichung der Variation der Einzelschlagenergie eines elektropneumatischen Schlagwerks über eine Drehzahlregelung;

Fig. 12 eine der Übersichtsdarstellung nach Fig. 10 entsprechende Blockschaltbild-Anordnung zur Änderung der Einzelschlagenergie eines elektropneumatischen Schlagwerks über eine Drehzahlregelung;

Fig. 13 eine Blockschaltbild-Anordnung für eine Schlagenergieregulierung eines elektropneumatischen Schlagwerks über eine veränderbare Leckage, wobei sich ein Drehzahlregler und ein Energieregler gegenseitig beeinflussen (können);

Fig. 14 eine Detailansicht einer veränderbaren Leckagebohrung im Führungsrohr eines elektropneumatischen Schlagwerks, das entsprechend der Anordnung von Fig. 12 geregelt wird;

Fig. 15 eine abgewandelte Ausführungsvariante eines elektropneumatischen Schlagwerks, bei dem die Einzelschlagenergie bei konstanter Schlagfrequenz über eine veränderbare Leckage am Schlagwerk durch tangentiale (rotatorische) Verschiebung einer Hülse bewirkt wird;

Fig. 16 die Prinzipdarstellung eines elektropneumatischen Schlagwerks, bei dem die Einzelschlagenergie durch Messung einer Stoßwelle in einem Döpper mittels des magneto-elastischen Effekts (ME-Effekt) erfolgt; und

Fig. 17 eine vereinfachte Signalpfadanordnung zur Berechnung der Einzelschlagenergie E_S aus dem bei Messung der Stoßwelle im Döpper nach Fig. 15 erhaltenen Sensorsignal.

[0022] Die Prinzipdarstellung der Fig. 1 veranschaulicht einen elektropneumatischen Bohr- und/oder Meisselhammer 1, an dessen gegenüber einem Antriebs- und Griffbereich vorstehendem werkzeugseitigen Ende ein Werkzeughalter 6 (ohne eingesetztes Werkzeug gezeigt) vorhanden ist. Seitlich auf der Außenseite des nur in Umrissen dargestellten Gerätegehäuses 7 befindet sich ein vom Benutzer zu betätigender Modus-Wahlschalter 2, über den der Bohrerhammerbetrieb einerseits oder der Meisselbetrieb andererseits sowie gegebenenfalls weitere Betriebsmodi wie Feinmeisseln und Schwebemeisseln vorwählbar sind. Die Wahlstellung des Wählschalters 2 wird einer in der Regel in einem Mikrocontroller 9 realisierten elektronischen Steuerung und Regelung mitgeteilt, die bei Betätigung einer Hand-Drucktaste 12 durch einen EIN-/AUS-Schalter 13 in Funktionsbereitschaft geschaltet bzw. von einer nur als Anschlusskabel 14 symbolisierten Stromversorgung getrennt wird. Der Begriff "Mikrocontroller" beinhaltet dabei sowohl eine vollständig integrierte digitale oder hybride, z. B. als ASIC realisierte Schaltung als auch die Alternative einer in diskreten Bauelementen aufgebauten Schaltungsanordnung. Ein in seinem Aufbau prinzipiell bekanntes elektropneumatisches Schlagwerk 15 ist im vorderen Teil des Gerätegehäuses 7 eingebaut. Zu diesem Schlagwerk gehört ein in einem nur ange deuteten Führungsrohr 16 in dessen hinterem Bereich geführter Erregerkolben 3, der über einen Pleuelantrieb 17 bei

Wahl des Meisselbetriebs vorwärts, d. h. in Richtung auf den Werkzeughalter 6, und rückwärts angetrieben wird. Ein mit mehreren axial beabstandeten Bereichen unterschiedlicher magnetischer Permeabilität, insbesondere mit axial aufeinander folgenden gleich abständigen Umfangsrillen 10 (von denen nur zwei dargestellt sind) versehener Flugkolben 4 wird beim Vorschub des Erregerkolbens 3 rückseitig durch ein Luft-Stoßpolster (Luftfeder) 20 beaufschlagt, das seinerseits über ein Druckpolster 21 auf einen Döpper 5 wirkt, der über den Werkzeughalter 6 beispielsweise einen Meissel (nicht gezeigt) antreibt.

[0023] Erfindungsgemäß wird bei dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel die Einzelschlagenergie des elektropneumatischen Schlagwerks über eine durch einen Aktuator, z. B. eine motorisch veränderbare Leckage 18 vom Mikrocontroller (Mikroprozessor) 9 aus zur Veränderung des Drucks in der Luftfeder 20 geregelt. Diese änderbare Leckage 18 kann durch ein oder mehrere radiale Durchbrechungen, so genannte Schnauflöcher 19, am Führungsrohr 16 im Bereich der Luftfeder 20 realisiert sein, die durch eine von einem Stellantrieb 31, beispielsweise einem Schrittmotor, verdrehbare Lochhülse 32 variiert werden, die mit einer der Anzahl der Schnauflöcher 19 entsprechenden Anzahl von Schrägfenstern 33 versehen ist. Um die tatsächliche kinetische Energie eines Einzelschlags zu bestimmen, misst ein Sensor 11, beispielsweise ein differenzieller Hall-Sensor, die Geschwindigkeit des Flugkolbens 4 durch Abtastung des Vorbeiflugs der Umfangsrillen 10 in Vorwärtsrichtung und beim Rückstoß also in Rückwärtsrichtung. Die Differenzgeschwindigkeit ist ein Maß für die auf den Döpper 5 übertragene Energie eines Einzelschlags. Dieses Geschwindigkeits-Differenzsignal wird dem Mikrocontroller 9 zugeführt, der den Wert der errechneten Einzelschlagenergie als PI-Regelvorgang gegen einen Energiesollwert vergleicht und ein Stellwertsignal an den Stellantrieb 31 liefert, der die Lochhülse 32 entsprechend verdreht und dadurch das oder die am Umfang des Führungsrohrs 16 ausgebildeten Schnauflöcher 19 freigibt bzw. verschließt, also eine Leckage am Luft-Stoßpolster 20 variiert.

[0024] Die Funktions-Blockbildarstellung der Fig. 2 veranschaulicht die unterschiedlichen Möglichkeiten für Vorgabewerte der Einzelschlagenergie, Drehzahl etc., für den PI-Regler 34 im Mikrocontroller 9, der beispielsweise den Stellantrieb 31 als Aktuator und damit die Luftfeder 20 im Schlagwerk 15 beeinflusst. Am Modus-Wahlschalter 2 lassen sich - wie erwähnt - grundsätzliche Betriebsvorgaben einstellen, wie Hammerbohren, Meisseln, Feinmeisseln, Schwembemeisseln, die gemeinsam mit den Werten eines Sollwert-Gebers 25 und gegebenenfalls mit Signalen anderer Eingabequellen 26 für Drehzahl, Strom und Spannung den Vorgabewert E_{soll} für die Einzelschlagenergie bestimmen.

[0025] Die Funktionsbildarstellung der Fig. 3 veranschaulicht eine Einzelschlagenergieregulierung über eine steuerbare Ventileinrichtung 35. Die Sensoreinrichtung 11 liefert an den Regler 34 im Mikrocontroller 9 einen Istwert der Differenzgeschwindigkeit, aus dem der Istwert der kinetischen Energie E_{kin} eines Einzelschlags bestimmt wird, die gegen den Vorgabewert E_{soll} verglichen wird. Der Regler 34 liefert einen Stellwert $G(s)$ an die Ventileinrichtung 35, die als Druckreduzierventil oder auch als Durchlass-Regelventil realisiert sein kann.

[0026] Mit der Regelanordnung nach Fig. 3 lassen sich Druckspitzen mittels des Druckreduzierventils beschränken. Ein eventuell überschüssiger Druck wird in das vordere Druckpolster 21 umgeleitet, wodurch eine zusätzliche Dämpfung des Flugkolbens 4 erreicht wird. Die den Flugkolben 4 beschleunigende Kraft ergibt sich dann aus der Differenz zwischen den Drücken, die an den beiden Stimflächen des Flugkolbens anliegen. Über das Druckreduzierventil werden die Druckspitzen zwischen dem Erregerkolben 3 und dem Flugkolben 4 reduziert. Der überschüssige Druck dient dazu, den statischen Druck im vorderen Druckpolster 21 zu erhöhen. Dabei dürfen die Druckspitzen jedoch nur soweit reduziert werden, dass gewährleistet ist, dass sich der Erregerkolben 3 und der Flugkolben 4 nicht berühren. Die Druckspitzen ergeben sich aus dem Impuls der notwendig ist, um die Bewegungsrichtung des Flugkolbens 4 umzukehren, sowie aus der Steifheit des Gesamtsystems. Sofern die Ventileinrichtung 35 als Durchlass-Regelventil realisiert ist, ist letzteres vorteilhafter mit einer Außenkammer verbunden.

[0027] Im Rahmen der Erfindung und zur Bestimmung der Einzelschlagenergie kommt bei bevorzugten Ausführungsvarianten der Erfindung der Messung der Flugkolbengeschwindigkeit eine wichtige Bedeutung zu. In Versuchsaufbauten erprobte Möglichkeiten werden nachfolgend vorgestellt.

[0028] Eine inkrementelle magnetische Messmethode ist bereits in DE 102 19 950 C1 beschreiben. Durch Anbringen der Umfangsrillen 10 auf der Mantelfläche des zylinderförmigen Flugkolbens 4 wird das Magnetfeld eines Permanentmagneten periodisch moduliert. Diese Magnetflussmodulation kann durch einen Halbleiter-Magnetfeldsensor gemessen werden. Die Periode dieser so gemessenen Oszillation ist ein Maß für die Geschwindigkeit des Flugkolbens 4.

[0029] Bezeichnet Δx den gegenseitigen Axialabstand (Strukturbreite oder Periode) der Umfangsrillen 10, so errechnet sich die Flugkolbengeschwindigkeit v gemäß:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = f \cdot \Delta x \quad (\text{Gl. 1})$$

[0030] Bei der Vorwärtsbewegung des Flugkolbens 4 in Richtung Döpper 5 misst man - je nach der Stoßzahl k - eine etwa drei Mal höhere Oszillationsfrequenz als bei der Rückwärtsbewegung. Angenommen die Flugkolbengeschwindigkeit betrage bei der Vorwärtsbewegung etwa 10 m/s und die Periode der Umfangsrillen 10 betrage 3 mm, so ergibt sich eine Periodendauer von 300 μs oder eine Frequenz von etwa 3 kHz. Diese Frequenz lässt sich einfach beispiels-

weise über den Counter-Eingang des Mikrocontrollers 9 messen. Dazu wird beispielsweise über eine Diode nur der positive Signalanteil gebildet und anschließend über einen Komparator zu einem Rechtecksignal gewandelt und direkt in den Counter-Eingang des Mikrocontrollers 9 geführt. Aus den so gesampelten Frequenzen oder Pulsbreiten lässt sich die Einzelschlagenergie E_s wie folgt berechnen:

$$E_s = \frac{m_{FK}}{2} \cdot (v_{vor}^2 - v_{rück}^2) \quad \text{Gl. (2)}$$

[0031] Darin bezeichnet m_{FK} die Masse des Flugkolbens. Das Verhältnis der Rückfluggeschwindigkeit $v_{rück}$ zur Vorwärtsgeschwindigkeit v_{vor} nennt man die Stoßzahl k . Sie gibt an, wieviel Impuls durch den bearbeiteten Untergrund aufgenommen wurde, und sagt daher auch etwas über die Beschaffenheit des Untergrunds aus.

$$k = \frac{v_{rück}}{v_{vor}} \approx 0.1 \dots 0.3 \quad \text{Gl. (3)}$$

[0032] Ein Ausführungsbeispiel für die Messung der Flugzeit bzw. Flugkolbengeschwindigkeit mittels Hall-Schaltern und einer XOR-Schaltung veranschaulicht die Prinzipdarstellung der Fig. 4, zu der die Signalverlaufsdarstellung der Fig. 5 gehört.

[0033] Die Flugkolbengeschwindigkeit wird mittels zweier mit Permanentmagneten vorgespannter digitaler Hall-Schalter 11a und 11b im Sensor 11, d. h. einer Art "magnetischer Lichtschranke" gemessen.

[0034] Ein Hall-Schalter ist ein Hall-Element, dessen Ausgang auf logisch 1 (oder analog auf logisch 0) liegt, sobald die lokale Feldstärke eine gewisse Mindestschwelle überschreitet. Spannt man einen solchen Hall-Schalter mit einem Permanentmagneten vor und stellt die Schwelle entsprechend ein, z. B. bei einem programmierbaren Hall-Schalter, so reagiert dieser mit einer logischen 1, sobald ein ferromagnetischer Körper in die Nähe dieses Sensors gebracht wird, im Falle der Erfindung der Flugkolben 4.

[0035] Die digitalen Hall-Schalter 11a und 11b sind in einem definierten Abstand Δs voneinander in der vorderen Hälfte des Schlagwerks am Führungsrohr 16 so angeordnet, dass der Flugkolben 4 in der vordersten Position der Arbeitsstellung, d. h. zum Zeitpunkt des Stoßes auf den nach hinten gepressten Döpper 5, beide Hall-Schalter 11a, 11b überdeckt, so dass beide durchschalten. Mit dieser Anordnung des Sensors 11 lässt sich die Flugkolbengeschwindigkeit einfach dadurch bestimmen, dass beide Sensorausgänge zunächst auf ein XOR-Gatter geführt werden, dessen Ausgang den Counter-Eingang des Mikrocontrollers 9 beaufschlagt. Dieser misst die Pulsbreite der beiden Rechteckpulse, die mit t_1 und t_2 bezeichnet sind; vgl. Fig. 5.

[0036] Aus diesen beiden Zeiten t_1 und t_2 lassen sich die Flugkolbengeschwindigkeiten bei Vor- und Rückflug bei jedem Schlag wie folgt berechnen:

$$v_{vor} = \frac{\Delta s}{t_1}$$

$$v_{rück} = \frac{\Delta s}{t_2}$$

[0037] Eine Variante sieht die Messung der Flugkolbengeschwindigkeit mittels differenzieller Hall-Sensoren vor. Der einfachste Aufbau besteht aus zwei identischen Hall-Elementen, etwa wie in Fig. 4 durch Bezugshinweise 11a und 11b veranschaulicht, die in geringem Abstand nebeneinander stehen und deren Ausgänge auf einen Differenzverstärker geführt werden. Man misst in diesem Fall analoge Signale, deren Verlauf in Fig. 6 (oben) für das Hall-Element 11a durch die ausgezogene Kurve A und für das Hall-Element 11b durch die gestrichelte Kurve B qualitativ veranschaulicht sind. Jedes Mal wenn die Vorderflanke des Flugkolbens 4 an den Hall-Elementen 11a, 11b vorbeisauft, wird an der Stelle dieser Sensoren eine Flussänderung und damit ein Spannungssignal detektiert. Dieses analoge Signal wird mittels eines Komparators (nicht gezeigt) mit Schwelle (Threshold) in ein digitales Signal verwandelt, dessen qualitativer Verlauf in der Mitte des Diagramms der Fig. 6 dargestellt ist. Dieses Signal triggert ein Flip-Flop. Dabei setzt der erste Puls das Flip-Flop, der zweite löscht es wieder. Dadurch werden Rechteckpulse generiert, deren Breite der Vorlaufgeschwindigkeit t_1 bzw. der Rücklaufgeschwindigkeit t_2 des Flugkolbens 4 entspricht.

[0038] Es sei darauf hingewiesen, dass es prinzipiell auch bereits ausreicht, nur einen differenziellen Sensor zu verwenden. Die Breite des Peaks des dann erhaltenen analogen Signals ist ein Maß für die Zeit, die der Flugkolben 4 benötigt, sich an diesem Sensor vorbeizubewegen und damit ein Maß für die Fluggeschwindigkeit.

[0039] Eine etwas aufwändigere, jedoch für die Betriebszuverlässigkeit vorteilhafte Methode besteht in der Verwendung eines Hall-Sensor-Arrays 70, bestehend aus 2^n digitalen Hall-Schaltern, wie in Fig. 7 veranschaulicht. Damit lässt sich die Position und die Geschwindigkeit des Flugkolbens 4 über die Länge des gesamten Sensors bestimmen. Die Bestimmung der Flugkolbengeschwindigkeit entspricht der bereits beschriebenen. Werden zur Bestimmung einer

Position des Flugkolbens 4 die 2^n -Hall-Schalter mit einem n-fach Multiplexer von einem 2^n -fach parallelen Signal direkt in ein n-bit serielles Signal gewandelt, so beschreibt dieses Signal die momentane Position des Flugkolbens 4.

[0040] Eine weitere Möglichkeit zur Messung der Flugkolbengeschwindigkeit, die in den Fig. 8A und 8B veranschaulicht ist, beruht auf dem Prinzip der Induktion. Dabei wird das Magnetfeld einer das Führungsrohr 16 umgebenden oder außerhalb angeordneten und über ein Joch 94 an das Führungsrohr 16 gekoppelten Spule 93 durch den vorbeifliegenden ferromagnetischen Flugkolben 4 moduliert und somit eine Spannung in der Spule 93 induziert. Der Flugkolben 4 kann als Teil eines magnetischen Kreises aufgefasst werden, bestehend aus Flussführung, gegebenenfalls Permanentmagnet und Spulenwicklung. Durch die Flussänderung kommt es zu einer Spannungsinduktion in der Spule, insbesondere dann, wenn die Kante des Flugkolbens 4 an der Spule vorbeisauert. Die Höhe der induzierten Spannung sowie die Breite des Spannungspeaks sind ein Maß für die Flugkolbengeschwindigkeit. Je schneller sich der Flugkolben 4 vorbeibewegt, desto höher ist die induzierte Spannung und umso kürzer ist der Spannungspuls.

[0041] Eine weitere in Fig. 9 gezeigte Ausführungsvariante der Erfindung zur Bestimmung der Einzelschlagenergie beruht auf einer Messung nach dem LVDT-Prinzip. Um die genaue Position des Flugkolbens 4 bzw. dessen Geschwindigkeit zu ermitteln, wird ein differenzieller linearer Transformator 80 verwendet, ein so genannter LVD(T)-Transformator (LVDT = Linear Variable Differential Transformer), bei welchem der Flugkolben 4 als längs verschiebbarer magnetischer Kern wirkt und somit die Kopplung zwischen einer Erregerwicklung 81 und Sensorwicklungen 82a, 82b komplementär verändert. Sowohl die Treiberschaltung für die Erregerwicklung 81 als auch die (nicht gezeigt) Demodulationsschaltkreise für die Sensorwicklungen 82a, 82b liefern ein analoges Spannungssignal, das proportional zur Position des magnetischen Kerns ist, hier realisiert durch den Flugkolben 4. Wichtig dabei ist, dass die Spannungen in den Sensorwicklungen 82a, 82b synchron zum Erregersignal demoduliert werden. Gleichzeitig wird als Referenz die Erregerspannung gemessen. Dadurch werden Drift (Amplitude, Phase) wegkompensiert. Eine genaue Beschreibung einer derartigen Schaltung findet der Leser in Datenblättern von Herstellern (z. B. Analog Devices, Philips) bzw. unter den Internet-Adressen

http://www.analog.com/Uploaded Files/Data_Sheets/34397787AD698_b.pdf

http://www.analog.com/Uploaded Files/Data_Sheets/82602395AD598_a.pdf

http://www.semiconductors.philips.com/acrobat/datasheets/NE552_SA5521_3.pdf

[0042] Eine weitere vorteilhafte erprobte Möglichkeit zur Messung der Position und Geschwindigkeit des Flugkolbens 4 mittels eines senkrecht zu dessen Bewegungsrichtung angebrachten Abstandssensors 90 ist in Fig. 10 veranschaulicht. Zur Bestimmung der Schlagenergie beruht diese Lösung auf einer Wegmessung des Flugkolbens 4. Dazu ist der Flugkolben 4 zwischen einer hinteren Ringabdichtung 91, meist einer O-Ring- oder Lippendichtung, und einer vorderen Führungskante 92 konisch abnehmend ausgebildet. Mit einem Wirbelstromsensor oder Hall-Element als Abstandssensor 90, der seitlich am Führungsrohr 16 angebracht ist, wird der Abstand zur über einen wesentlichen Abschnitt seiner axialen Länge konischen Mantelfläche des Flugkolbens 4 gemessen. Sofern der Abstandssensor 90 etwa im Falle eines Wirbelstromsensors ein abstandsproportionales Signal liefert, so lässt sich aus diesem Signal die Flugkolbenposition $x_{FK}(t)$ errechnen. Liefert der Abstandssensor 90 beispielsweise im Falle eines Hall-Sensors kein abstandsproportionales Signal, so kann die Mantelfläche des Flugkolbens 4 so gestaltet werden, dass die Nichtlinearität kompensiert wird. Auch in diesem Fall lässt sich während des Vorbeifliegens des Flugkolbens 4 seine Position bestimmen. Durch Differenzierung des Positionswerts lässt sich damit auch die Flugkolbengeschwindigkeit an der Stelle des Abstandssensors 90 messen. Der besondere Vorteil dieser Ausführungsvariante ist es, dass das Vorzeichen der Geschwindigkeit erhalten bleibt. Damit ist eine einfache Trennung der Signale bei Vor- und Rückwärtsbewegung des Flugkolbens 4 möglich.

[0043] Der Zusammenhang zwischen der Messspannung des Hall- oder Wirbelstromsensors und der Flugkolbengeschwindigkeit lässt sich wie folgt darstellen:

[0044] Die Messspannung $U(t)$ ist proportional zur Position $x(t)$ des Flugkolbens 4:

$$u(t) = h[x(t)] = \frac{\Delta h}{\Delta s} \cdot x(t) = m \cdot x(t) \quad \text{Gl. (5)}$$

$m = \frac{\Delta h}{\Delta s}$: Steigung des Keils oder Konus am Flugkolben 4

$u(t)$: gemessene Spannung

[0045] Die Flugkolbengeschwindigkeit ergibt sich aus der Ableitung der gemessenen Sensorspannung $u(t)$:

$$v_{FK}(t) = \frac{\partial}{\partial t} x(t) = \frac{1}{m} \cdot \frac{\partial u(t)}{\partial t} \quad \text{Gl. (6)}$$

[0046] Die Fig. 11 und 12 dienen zur Erläuterung der Nachführung der Einzelschlagenergie über eine Drehzahlregelung 27. Die anhand der Fig. 1 bis 10 erläuterten Baugruppen sind mit den entsprechenden Bezugszeichen versehen und werden nicht nochmals beschrieben. Die Ermittlung der momentanen Einzelschlagenergie E_s erfolgt beispielsweise gemäß Gl. (2). Die vom Regler 34 im Mikrocontroller 9 in Relation zu einem Vorgabewert E_{soll} generierte Stellgröße $G(s)$ beaufschlagt in diesem Fall die Drehzahlregelung 27, die ebenfalls im Mikrocontroller 9 implementiert sein kann. Diese gibt die Drehzahl ω_{rot} für einen Antriebsmotor 41 vor, der beispielsweise als Universalmotor, SR-Motor oder PLDC-Motor realisiert sein kann.

[0047] Der vom (Energie-)Regler 34 bereitgestellte Stellwert $G(s)$ für die Solldrehzahl ω_{soll} , kann nach Betätigen eines Umschalters 51 auch durch ein über die Hand-Drucktaste 12 betätigbares Potentiometer 52 vorgegeben werden, wenn der elektropneumatische Bohr-/Meisselhammer durch den Benutzer für bestimmte Arbeitsvorgänge individuell eingestellt werden soll. Der Drehzahlvorgabewert ω_{soll} wird in einem Komparator 53 gegen einen beispielsweise über einen Tachogenerator 54 an der Motorwelle abgegriffenen tatsächlichen Drehsollwert ω_{ist} verglichen, und die Differenz $\Delta\omega$ gelangt auf die Motorregelung 50. Diese in den Fig. 11 und 12 dargestellte einfachste Art der Regelung der Schlagenergie erfolgt ersichtlicherweise über die Regelung der Drehzahl des Antriebsmotors 41. Die Einzelschlagenergie E hängt in etwa quadratisch von der Schlagfrequenz f und damit von der Motordrehzahl ω_{rot} ab. Über die Bestimmung der Vor- und Rückfluggeschwindigkeit des Flugkolbens 4 wird die momentane Schlagenergie gemessen und mit dem Sollwert verglichen. Die Regeldifferenz ist der über den Sensor 11 gelieferte Eingang des Reglers 34, auch als Schlagenergieregler bezeichnet, in Fig. 11 symbolisiert durch $G(s)$:

$$G(s) = \frac{\Delta\omega_{soll}}{\Delta E} \quad (\text{Gl.7})$$

[0048] Dieser Regler 34 berechnet den neuen Sollwert ω_{soll} für den Drehzahlregler $H(s)$, der in einfacher PI-Regler mit Anti-Windup sein kann. Es gilt:

$$H(s) = \frac{\Delta U}{\Delta\omega} \quad (\text{Gl. 8})$$

[0049] Dabei bezeichnet ΔU die effektive Spannung über den Motorklemmen. Sie wird als Sollwert dem Block PE (= Power Electronics) übergeben. Dieser Block PE kann für Universalmotoren eine einfache Phasenanschnittsteuerung mittels eines Triacs sein, es kann aber auch eine komplexere Ansteuerung für elektronisch kommutierte Motoren wie Brushless DC-Motoren oder Switched Reluctance Motoren sein.

[0050] Die Fig. 13 mit der Detaildarstellung der Fig. 14 veranschaulichen eine in einem Funktionsaufbau untersuchte Ausführungsvariante der Erfindung zur Regelung der Einzelschlagenergie, vorzugsweise bei konstanter Schlagfrequenz, über eine steuerbare Leckage im Schlagwerk 15 durch axiales Verschieben einer Hülse 36. Diese Leckage wird bereitgestellt beispielsweise durch zwei oder vier radiale Durchbrüche oder Bohrungen 71 im Führungsrohr 16 im Bereich der Luftfeder 20. Wie die Fig. 14 erkennen lässt, nehmen die Querschnitte der Bohrungen 71 nach hinten, also in Richtung zum Erregerkolben 3, graduell ab. Dadurch lässt sich bei axialer Verschiebung der Hülse 36 eine kontinuierliche Querschnittsveränderung über den Weg der Hülse 36 realisieren. Die Fig. 13 veranschaulicht eine teilweise Abdeckung der Bohrungen 71.

[0051] In Abwandlung der Regelanordnung nach Fig. 12 lässt die Anordnung der Fig. 13 erkennen, dass bei dieser Ausführungsvariante zur Schlagenergieregulation der Drehzahlregler $H(s)$ in der Motorregelung 50 und der (Energie-) Regler $G(s)$ in der Regelung 34 voneinander abhängen und sich gegenseitig beeinflussen, so dass eine Parameteränderung möglich ist. Die Reglerkonstanten für den Energieregler hängen vom Arbeitspunkt des Schlagwerks und damit von der Schlagfrequenz, also der Drehzahl ab. Diese Parameter können in Form von Look-Up-Tabellen abgelegt sein und je nach Drehzahl eingesetzt werden. Bei starker Energieabsenkung (d. h. großer Leckage) reagiert das Schlagwerk empfindlich auf kleine Störungen und Änderungen, und es reagiert umso empfindlicher, je höher die Schlagfrequenz ist. Dem wird im Regler mit angepassten Reglerkonstanten Rechnung getragen. Aus diesem Grund besteht eine bidirektionale Verbindung 55 zwischen $G(s)$ und $H(s)$. Ein Aktuator 56, beispielsweise realisiert als Linearmotor, Linearschrittmotor oder Voice-Coil-Actuator, verschiebt die Hülse 36 in Axialrichtung zur Veränderung der Leckage 18 über die Bohrung 71 entsprechend der Vorgabe über den Energieregler $G(s)$.

[0052] Eine andere Möglichkeit zur Regelung der Einzelschlagenergie bei konstanter Schlagfrequenz über eine Leckage 18 am Schlagwerk 15, die dem Leser grundsätzlich aus der Beschreibung der Fig. 1 schon bekannt ist, veranschaulicht die Fig. 15. In diesem Fall ist die Lochhülse 32 verdrehbar, wobei als Aktuator 56 ein Schrittmotor, ein Torque-Motor, ein DC-Motor mit Schneckengetriebe oder ein Stirnradgetriebe 37 wie in Fig. 1 in Frage kommt. Die verdrehbare Lochhülse 32 weist das in Verbindung mit Fig. 1 erwähnte Schrägfenster 33 (mit abgeschrägtem Rahmen) auf, wodurch sich eine kontinuierliche Querschnittsveränderung der als Schnauflöcher 19 dienenden Bohrungen 71

über den tangentialen Verdrehweg der Lochhülse 32 realisieren lässt. In der in Fig. 15 eingezeichneten Stellung sind die Querschnitte der Bohrungen 71 teilweise geöffnet, was einer Absenkung der Einzelschlagenergie entspricht. Bei vollständig geöffneten Bohrungen 71 ist das Schlagwerk deaktiviert.

[0053] Eine andere vorteilhafte Variante zur Messung der Energie eines Einzelschlags und zur Schlagenergieregung wird nachfolgend unter Bezug auf die Fig. 16 und 17 beschrieben.

[0054] Das Messprinzip zur Bestimmung der Einzelschlagenergie beruht auf der Messung der Stoßwelle im Döpper 5 beim Auftreffen des Flugkolbens 4. Eine axial vorzugsweise um den unteren Bereich des Döppers 5 gewickelte Spule 83 magnetisiert den Döpper 5 in axialer Richtung in einem bestimmten Arbeitspunkt. Je nach Verwendung einer Quelle 84 - Spannungsquelle oder Stromquelle - wird entweder die Spannungs- oder die Stromänderung, verursacht durch momentane Magnetflussänderungen im aus einem magneto-elastischen Stahl (Ni-haltig) gefertigten Döpper 5 auf Grund des magneto-elastischen Effekts gemessen. Im dargestellten Beispiel wird diese Spannung U_2 über einen Shunt 85 abgegriffen; sie ist proportional zur Änderung der mechanischen Spannung im Material des Döppers 5.

[0055] Beim Zusammenprall von Flugkolben 4 und Döpper 5 wird in beiden Körpern eine elastische Stoßwelle generiert, welche sich mit der Wellenausbreitungsgeschwindigkeit γ im elastischen Material des Döppers 5, welches durch die Elastizität E^* und die Dichte ρ definiert ist, fortpflanzt:

$$\rho = \sqrt{\frac{E^*}{\rho}} \approx 5300 \text{ ms}^{-1} \quad \text{Gl.(9)}$$

[0056] Für Stahl gilt:

$$E^* \approx 2 \cdot 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\rho \approx 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

[0057] Die Stoßwelle gelangt an die Spitze des Werkzeugs und generiert dort eine hohe mechanische Druck- und Zugspannung, welche zu einem Versagen des Untergrunds führen und somit den Abbau des Untergrunds bewirken.

[0058] Die Geschwindigkeit der Verschiebungen im Material hängt über das hooksche Gesetz mit den mechanischen Spannungen zusammen.

$$v = \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t} = \epsilon \cdot \frac{\partial x}{\partial t} = \epsilon \cdot \gamma = \frac{\sigma}{E^*} \gamma \quad \text{Gl.(10)}$$

[0059] Aus den mechanischen Spannungen in einem der Stoßkörper, insbesondere dem Döpper 5 lässt sich die elastische Energie des Impulses und damit die Einzelschlagenergie berechnen. Sie ist gegeben durch das Integral des Quadrats der mechanischen Spannungen.

$$E_s = \frac{A}{\sqrt{E^* \cdot \rho}} \cdot \int_{\tau} \sigma^2(t) dt = \frac{A}{Z} \cdot \int_{\tau} \sigma^2(t) dt \quad \text{Gl. (11)}$$

[0060] Dabei bedeutet:

- A: Querschnittsfläche, über welcher gemessen wird
- Z: mechanische Wellenimpedanz des Materials
- τ : Impulsdauer (typischerweise 100 bis 200 μs)

[0061] Wandert nun die Stoßwelle durch den Döpper 5, so ändern sich dessen magnetische Eigenschaften. Dies geschieht innerhalb einer Zeit von etwa 50 bis 100 μs . Während dieser Zeit wirkt eine übliche Konstantstromquelle als Konstantspannungsquelle aufgrund von Trägheit. In dieser Zeit misst man über den Shunt 85 eine kurze Stromänderung, die proportional ist zur Änderung der mechanischen Spannungen im Döpper 5. Dabei wird die Spannungs- bzw.

Stromquelle 84 vorteilhaft durch einen großen Kondensator gestützt (nicht dargestellt), der nicht in der Lage ist, schnelle Stromschwankungen zu kompensieren. Die Stromänderung wird, wie die Fig. 17 veranschaulicht, AC-gekoppelt, über einen Operationsverstärker (nicht dargestellt) verstärkt, zunächst in 86 Bandpass-gefiltert und über einen AD-Wandler 87 digitalisiert und sodann in einer Recheneinheit 88 (Mikrocontroller) mit einer ausreichend hohen Taktzeit gesampelt. Wie durch Funktionsblöcke veranschaulicht, wird das digitalisierte Signal in der Recheneinheit 88 zunächst numerisch integriert, dann quadriert und dann nochmals über die Pulsdauer τ (z. B. 500 μ s) numerisch integriert, um am Ausgang die Einzelschlagenergie E_S zu erhalten. Dabei ist auf eine saubere Triggerung und Separation der Stoßpulse zu achten, um den ersten Stoßpuls deutlich von den Signalen, die von Mehrfachreflexionen herrühren, zu trennen. Als Trigger-Signal kann am Döpper 5 das abgegriffene ME-Signal selbst oder ein zusätzliches Signal dienen, z. B. die Flugkolbenposition oder die am Gerätegehäuse 7 aufgenommene Beschleunigung (nicht dargestellt). Bei dem vereinfachten Blockschaltbild der Fig. 17 gibt der Faktor A eine Verstärkung an, die abhängt von der Art des ME-Sensors. Die Pulsdauer τ beträgt etwa 100 bis 200 μ s.

[0062] Ganz allgemein kann zu den Anforderungen an die Dynamik des Schlagenergiereglers Folgendes gelten: Die Dynamik des Reglers ist nicht durch die Schlagfrequenz bestimmt. Es ist nicht zwingend erforderlich, die Energie des individuellen Einzelschlags zu regeln. Der Regler ist vielmehr so auszulegen, dass sich beispielsweise innerhalb von 0,3 bis 0,5 Sekunden die Einzelschlagenergie auf einen gewünschten Sollwert einpegelt. Eine höhere Dynamik ist in der Praxis nicht erforderlich. Wichtig ist, dass beispielsweise die verschleißbedingte Abnahme der Einzelschlagenergie kompensiert werden kann, ohne dass beim Bohren auf heiklen Untergründen, wie beispielsweise Marmor oder Granitplatten, eine vorgegebene Einzelschlagenergie überschritten wird, da ansonsten die Gefahr besteht, dass sich in dem zu bearbeitenden Material zu lange Risse bilden. Damit sind die Anforderungen an die Stellglieder des Reglers nicht extrem hoch, so dass z. B. für die oben beschriebene Leckage-Änderung durch eine verstellbare Hülse ein Schrittmotor eingesetzt werden kann, beispielsweise ein Spindelschrittmotor.

Patentansprüche

1. Bohr- und/oder Meisselhammer mit elektropneumatischem Schlagwerk, dessen Schlagenergie veränderbar ist, **gekennzeichnet durch**

- eine Sensoreinrichtung (10, 11; 11a, 11b), welche eine zur auf einen abzubauenen Untergrund übertragenen Einzelschlagenergie korrelierte Größe erfasst;
- eine Regeleinrichtung (9, 34), in welche die der Einzelschlagenergie entsprechende Größe gegen einen Sollwert (E_{soll}) verglichen und ein Stellwert ($G(s)$) generiert wird, und
- eine **durch** den Stellwert beaufschlagten Aktuator (7) zur Nachführung der Einzelschlagenergie auf den Sollwert.

2. Bohr- und/oder Meisselhammer nach Anspruch 1, dessen elektropneumatisches Schlagwerk einen in einem Führungsrohr (16) durch einen elektromotorisch angetriebenen Erregerkolben (3) über eine antriebsseitige Luftfeder (20) verschieblichen Flugkolben (4) und einen am abtriebsseitigen Ende des Führungsrohrs (16) vorhandenen Döpper (5) aufweist, der über ein Luft-Druckpolster (21), durch den Flugkolben (4) angetrieben, auf ein Schlagwerkzeug wirkt,

dadurch gekennzeichnet, dass

- die Sensoreinrichtung (11) die Momentanposition und/oder die Geschwindigkeit des Flugkolbens (4) in Vorwärtsrichtung zum Schlagwerkzeug und in Rückwärtsrichtung erfasst, und dass in einem Mikrocontroller (9) aus der Differenzgeschwindigkeit die kinetische Energiedifferenz als Maß für die Einzelschlagenergie bestimmt wird.

3. Bohr- und/oder Meisselhammer nach Anspruch 1, dessen elektropneumatisches Schlagwerk einen in einem Führungsrohr (16) durch einen elektromotorisch angetriebenen Erregerkolben (3) über eine antriebsseitige Luftfeder (20) verschieblichen Flugkolben (4) und einen am abtriebsseitigen Ende des Führungsrohrs (16) vorhandene Döpper (5) aufweist, der über ein Luft-Druckpolster (21), durch den Flugkolben (4) angetrieben, auf ein Schlagwerkzeug wirkt,

dadurch gekennzeichnet, dass

- der Döpper (5) ein magneto-elastisches, ferromagnetisches Material enthält oder aus diesem Material besteht,
- die Sensoreinrichtung einen dem Döpper (5) zugeordneten magneto-elastischen Sensor aufweist, der den Döpper mit einem Magnetfluss beaufschlagt und magnetische Permeabilitätsänderungen und damit Magnet-

flussänderungen im Döpper aufgrund von durch Schlageinwirkung des Flugkolbens (4) generierter Stoßwellen im Döpper (5) als Sensorsignal erfasst, und

- eine Einrichtung (86) zur Berechnung der Einzelschlagenergie (E_S) aus dem Sensorsignal.

- 5 4. Bohr- und/oder Meisselhammer nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regeleinrichtung einen PI-Regler (34) aufweist.
5. Bohr- und/oder Meisselhammer nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der von der Regeleinrichtung durch den Stellwert ($G(s)$) beaufschlagte Aktuator eine steuerbare Ventileinrichtung (35) betätigt, die den Druck in der Luftfeder (20) zur Nachführung der Schlagenergie verändert.
- 10 6. Bohr- und/oder Meisselhammer nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ventileinrichtung (35) auch den Druck in einem Druckpolster (21) zwischen dem Flugkolben (4) und dem Döpper (5) verändert.
- 15 7. Bohr- und/oder Meisselhammer nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sensoreinrichtung (11) zwei mit Permanentmagneten vorgespannte digitale Hall-Schalter (11a, 11b) aufweist, die am Führungsrohr (16) im Verschiebeweg des Flugkolbens (4) mit vorgegebenem Abstand (Δs) voneinander angeordnet sind.
- 20 8. Bohr- und/oder Meisselhammer nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sensoreinrichtung (11) zwei differenzielle Hall-Sensoren aufweist, die am Führungsrohr (16) im Verschiebeweg des Flugkolbens (4) mit vorgegebenem Abstand nebeneinander angeordnet sind.
- 25 9. Bohr- und/oder Meisselhammer nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sensoreinrichtung (11) einen differenziellen Hall-Sensor aufweist, der am Führungsrohr (16) im Verschiebeweg des Flugkolbens (4) angeordnet ist.
- 30 10. Bohr- und/oder Meisselhammer nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sensoreinrichtung (11) ein Hall-Schalter-Array (70) mit einer Mehrzahl von in vorgegebenem gegenseitigen Abstand (Δs) entlang dem Führungsrohr (16) im Verschiebeweg des Flugkolbens (4) angeordneter aufeinanderfolgender Hall-Schalter aufweist.
- 35 11. Bohr- und/oder Meisselhammer nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sensoranordnung (11) einen das Führungsrohr (16) im Verschiebeweg des Flugkolbens (4) umgebenden LVD-Transformator (80) aufweist, bei welchem der Flugkolben (4) als längs verschieblicher magnetischer Kern wirkt, der bei Längsverschiebung die Kopplung zwischen einer Erregerwicklung (81) und wenigstens einer Sensorwicklung (82a, 82b) verändert.
- 40 12. Bohr- und/oder Meisselhammer nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sensoranordnung (11) einen am Führungsrohr (16) senkrecht zur Bewegungsrichtung des Flugkolbens (4) in dessen Verschiebeweg angeordneten Abstandssensor (90) aufweist, wobei der Flugkolben eine mindestens über einen Teilbereich seiner axialen Länge konischen Mantelabschnitt aufweist.
- 45 13. Bohr- und/oder Meisselhammer nach Anspruch 2 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regeleinrichtung die Drehzahl des Antriebsmotors für den Erregerkolben (3) regelt.
- 50 14. Bohr- und/oder Meisselhammer nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet** durch einen die Motordrehzahl erfassenden Tachogenerator (54), dessen Drehzahl-Istwert (ω_{ist}) gegen einen vom Benutzer vorgebbaren Drehzahl-Sollwert (ω_{soll}) in einem Komparator (53) vergleichbar ist, wobei die ermittelte Drehzahlabweichung ($\Delta\omega$) als zusätzliche Einflussgröße über den Schlag-Energierегler ($G(s)$) auf den Aktuator (56) wirkt.
- 55 15. Bohr- und/oder Meisselhammer nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die steuerbare Ventileinrichtung eine änderbare Leckage (18) an der Luftfeder (20) ist.
16. Bohr- und/oder Meisselhammer nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die änderbare Leckage durch wenigstens ein das Führungsrohr (16) durchsetzendes Schnaufloch (19) und eine durch einen Stellantrieb axial oder tangential relativ zum Führungsrohr verschiebbliche Lochhülse (32) gebildet ist.
17. Bohr- und/oder Meisselhammer nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Lochhülse (32) ein mit

einer schräg zur Achse des Führungsrohrs (16) verlaufenden Kante ausgebildetes Fenster (Schrägfenster) (33) aufweist, welches über der Schnauföffnung verfahrbar ist.

5 18. Bohr- und/oder Meisselhammer nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die änderbare Leckage (18) durch wenigstens eine das Führungsrohr (16) durchsetzende Bohrung (71) und eine axial durch den Aktuator (56) verstellbare Hülse (36) gebildet ist.

10 19. Bohr- und/oder Meisselhammer nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bohrung (71) abge-schrägte Wandabschnitte aufweist.

20. Bohr- und/oder Meisselhammer nach anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sensoreinrichtung einen Induktionssensor (87, 88) aufweist.

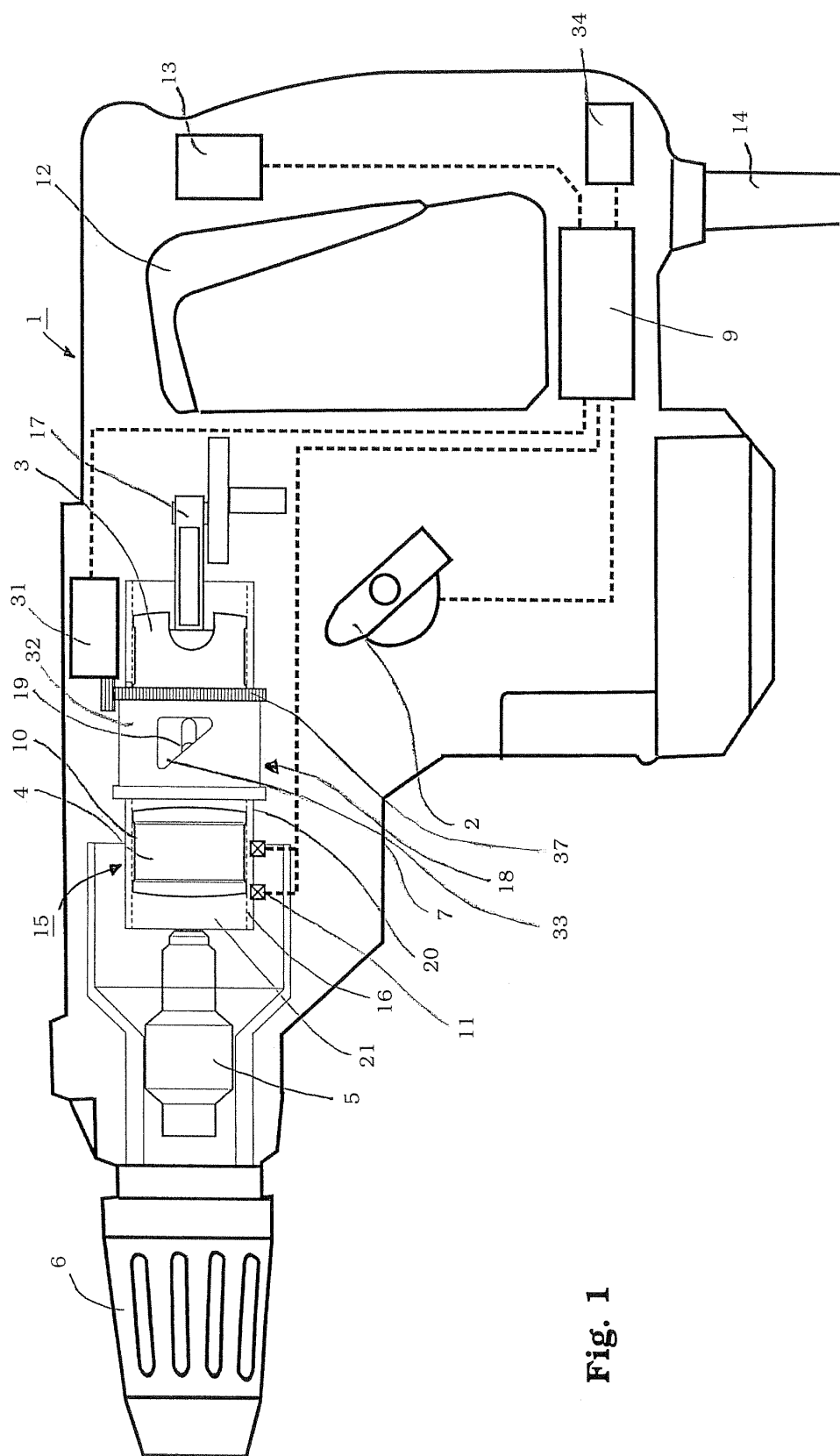


Fig. 1

Fig. 2

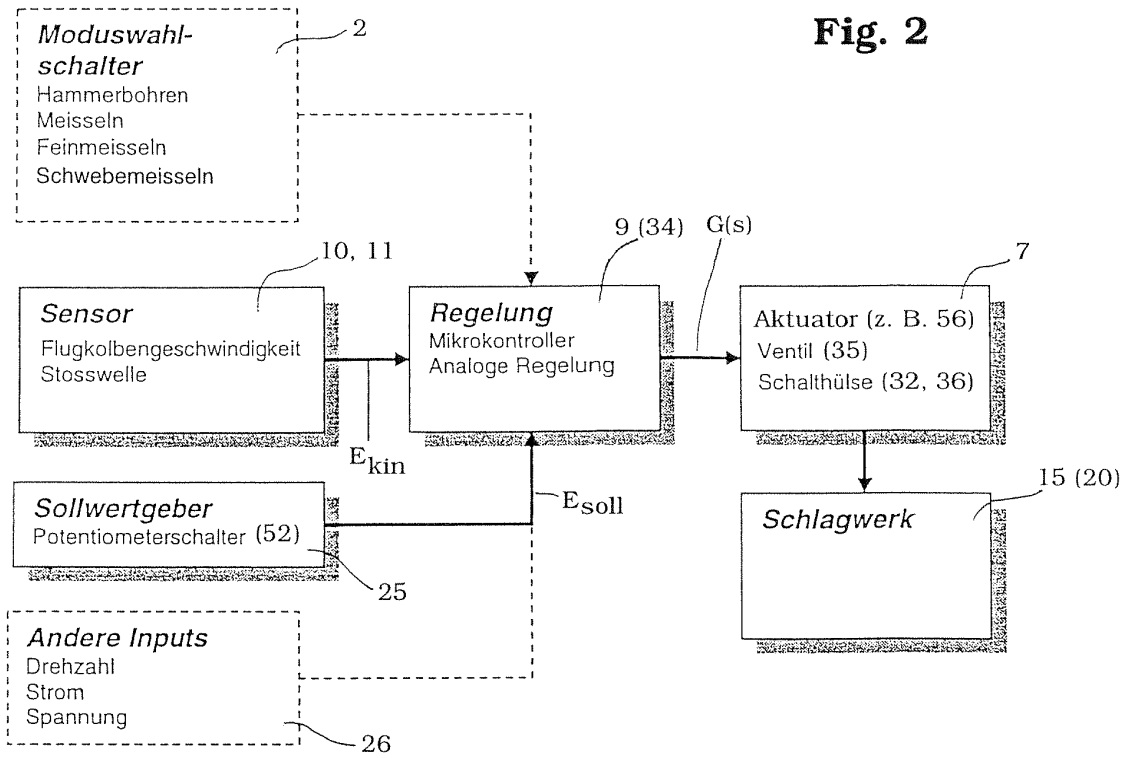


Fig. 3

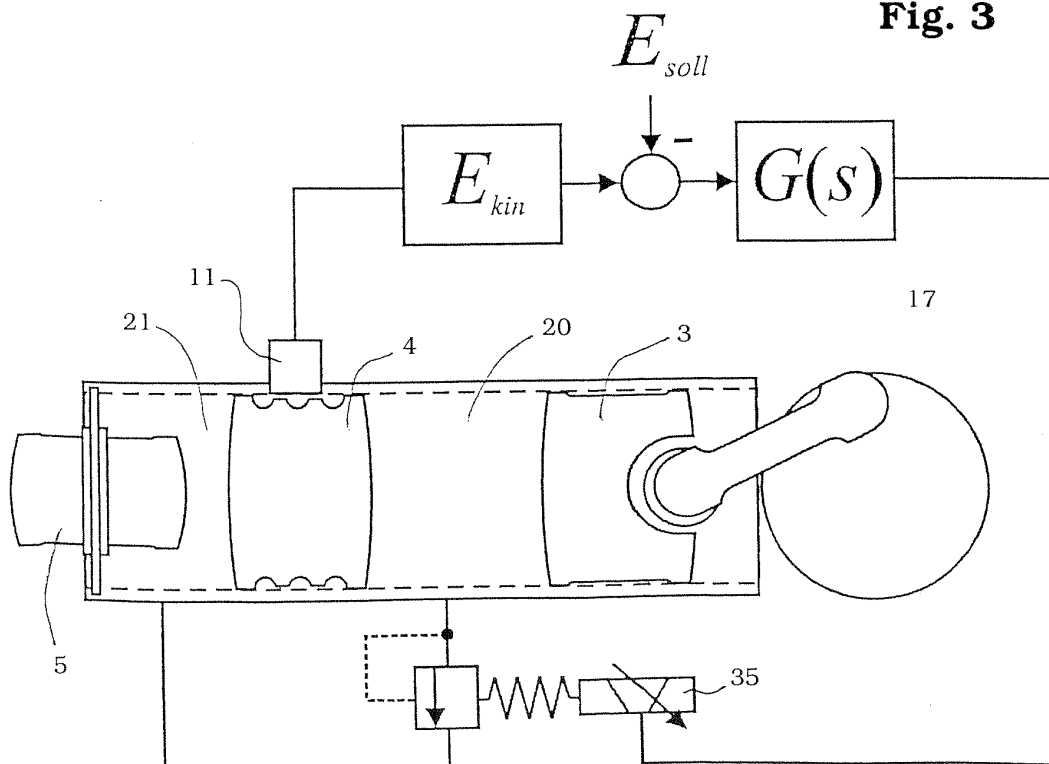


Fig. 4

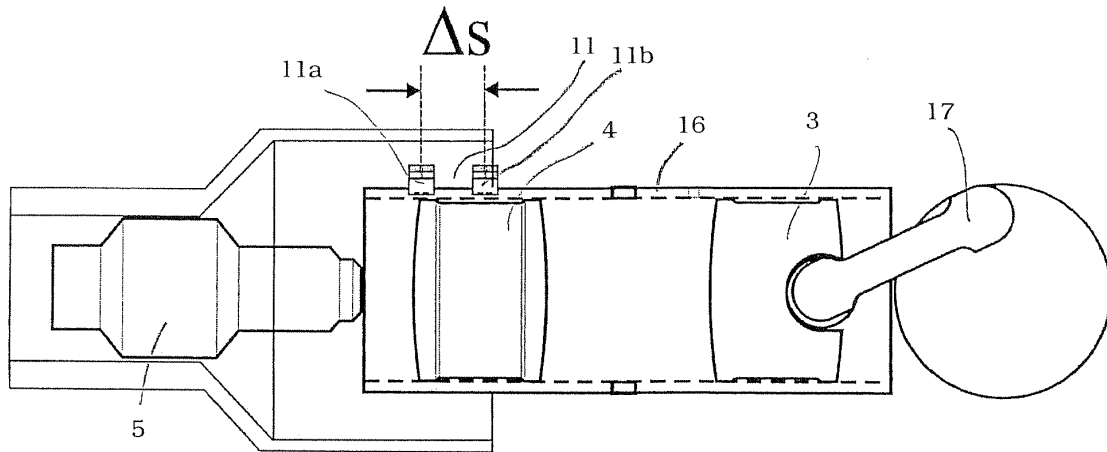


Fig. 5

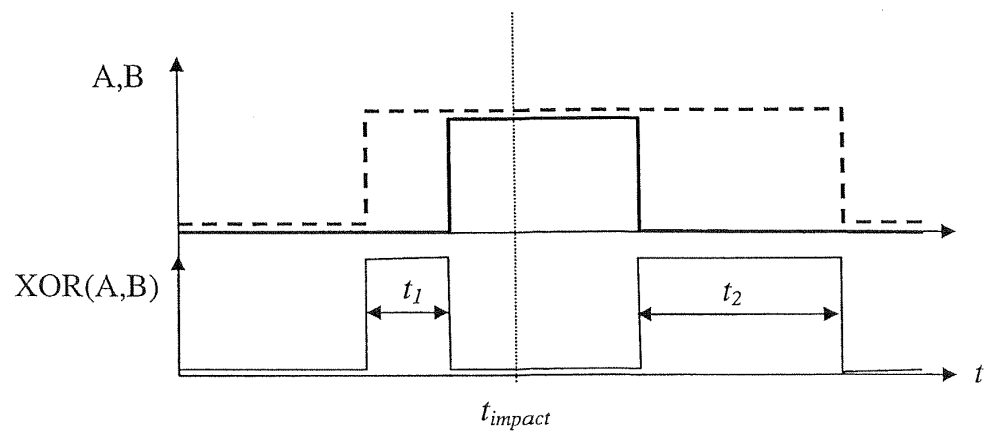


Fig. 6

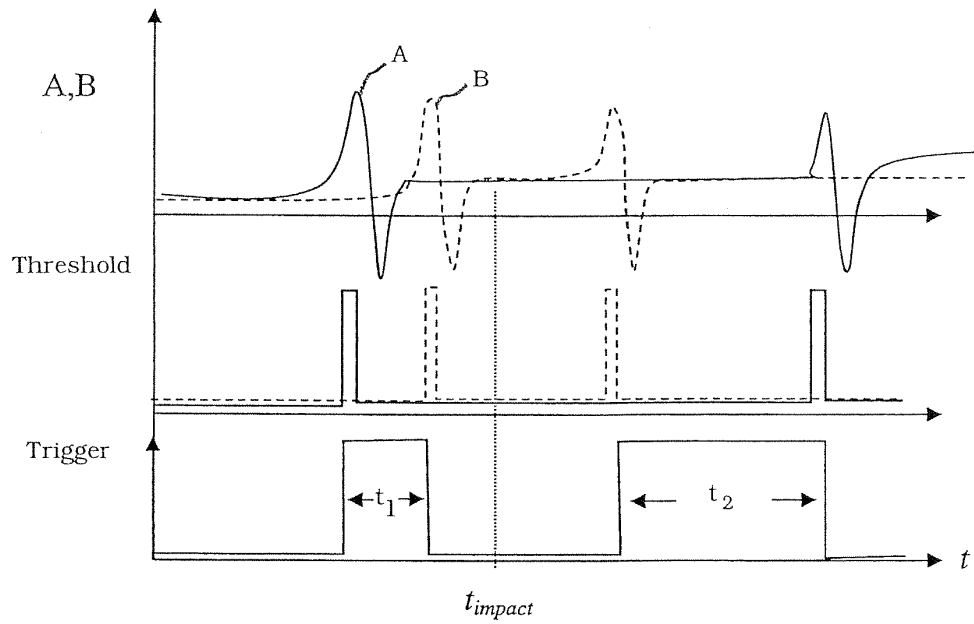
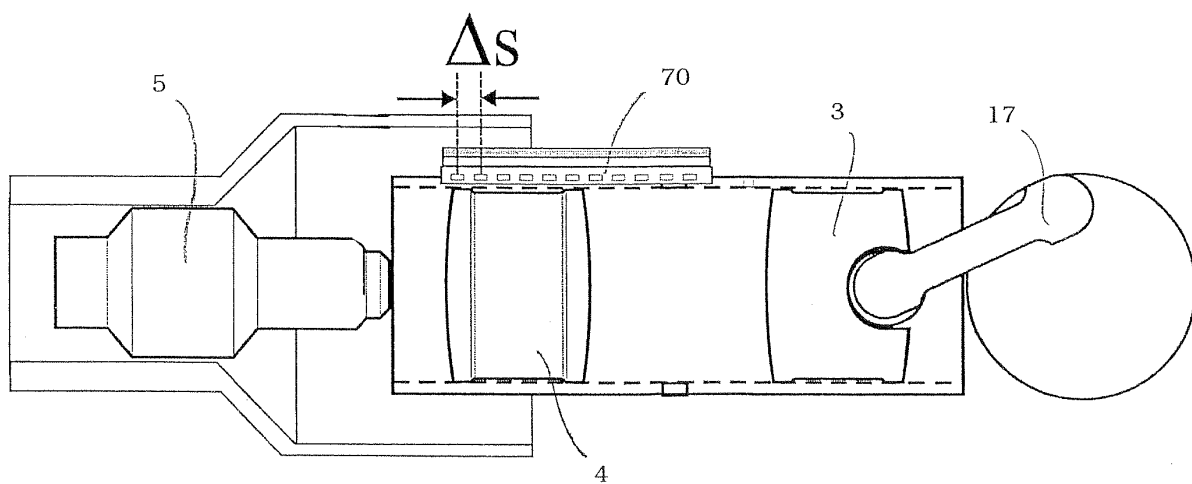


Fig. 7



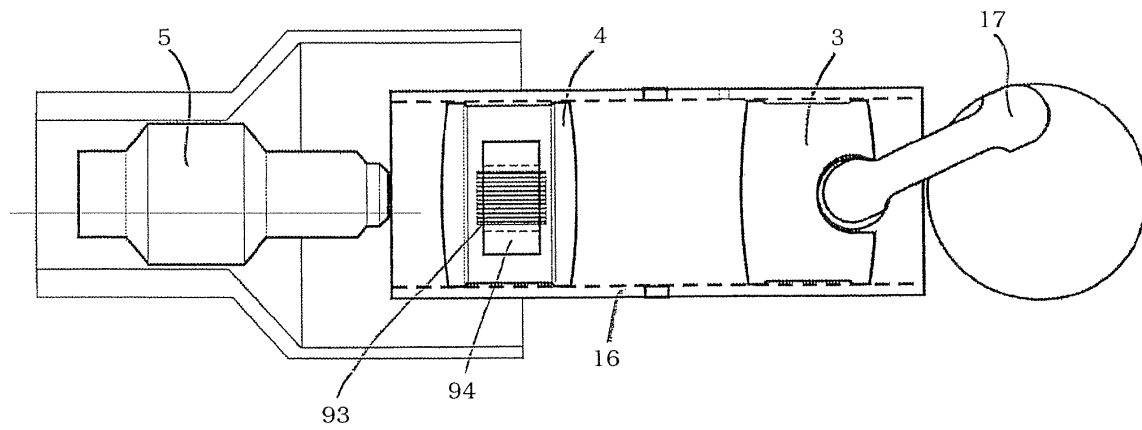


Fig. 8A

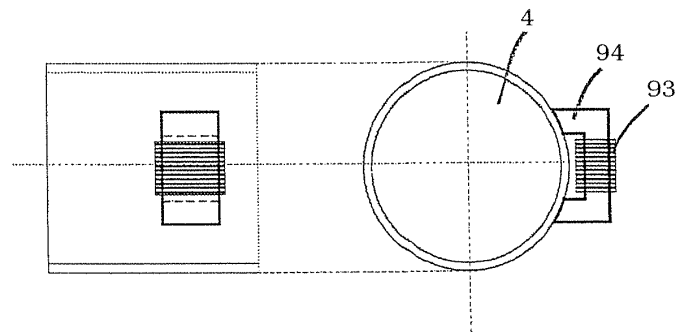


Fig. 8B

Fig. 9

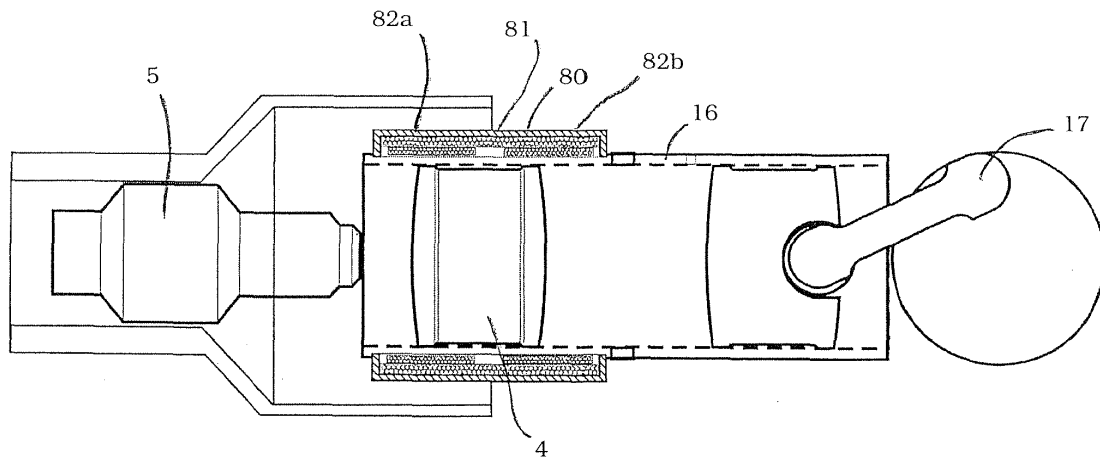


Fig. 10

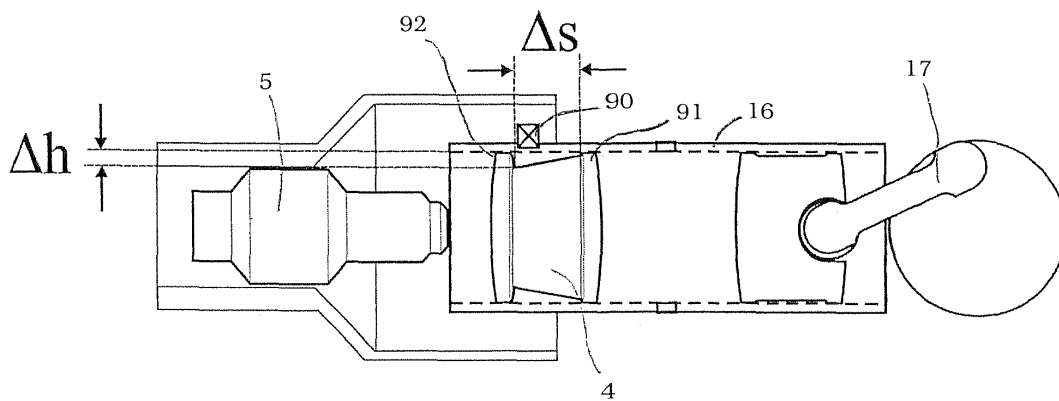


Fig. 11

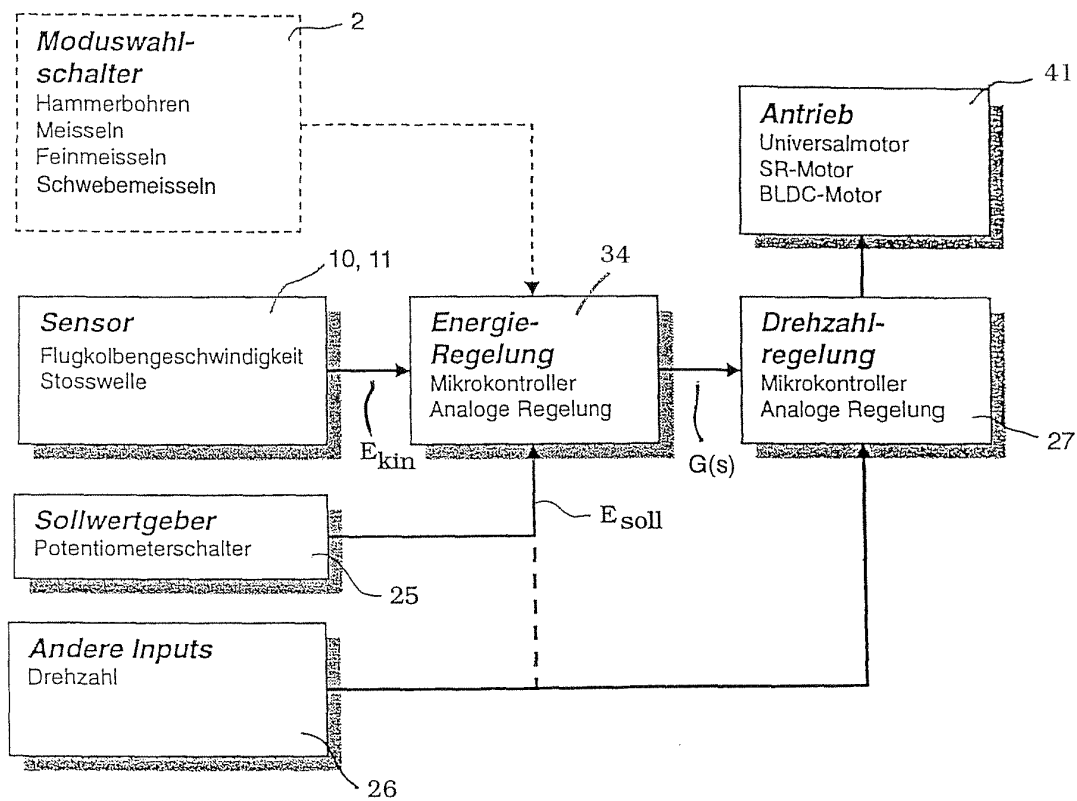


Fig. 12

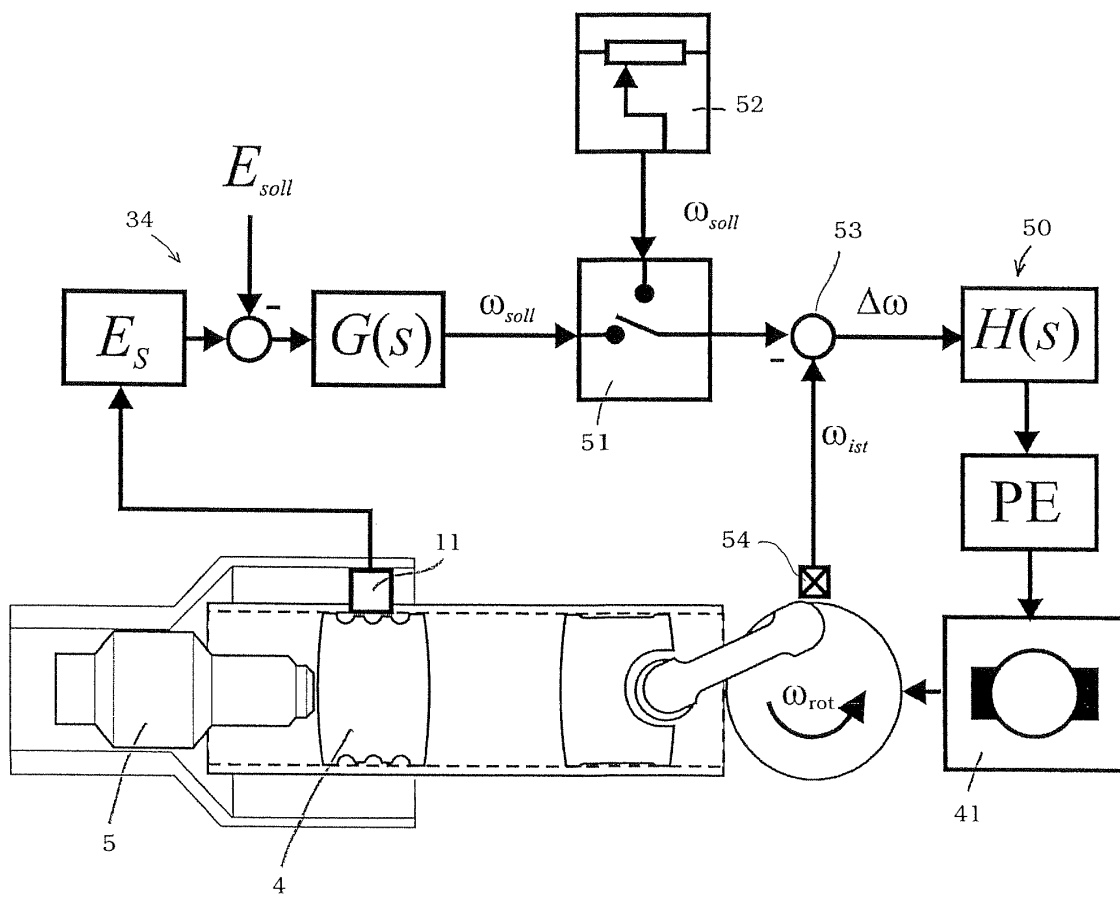


Fig. 13

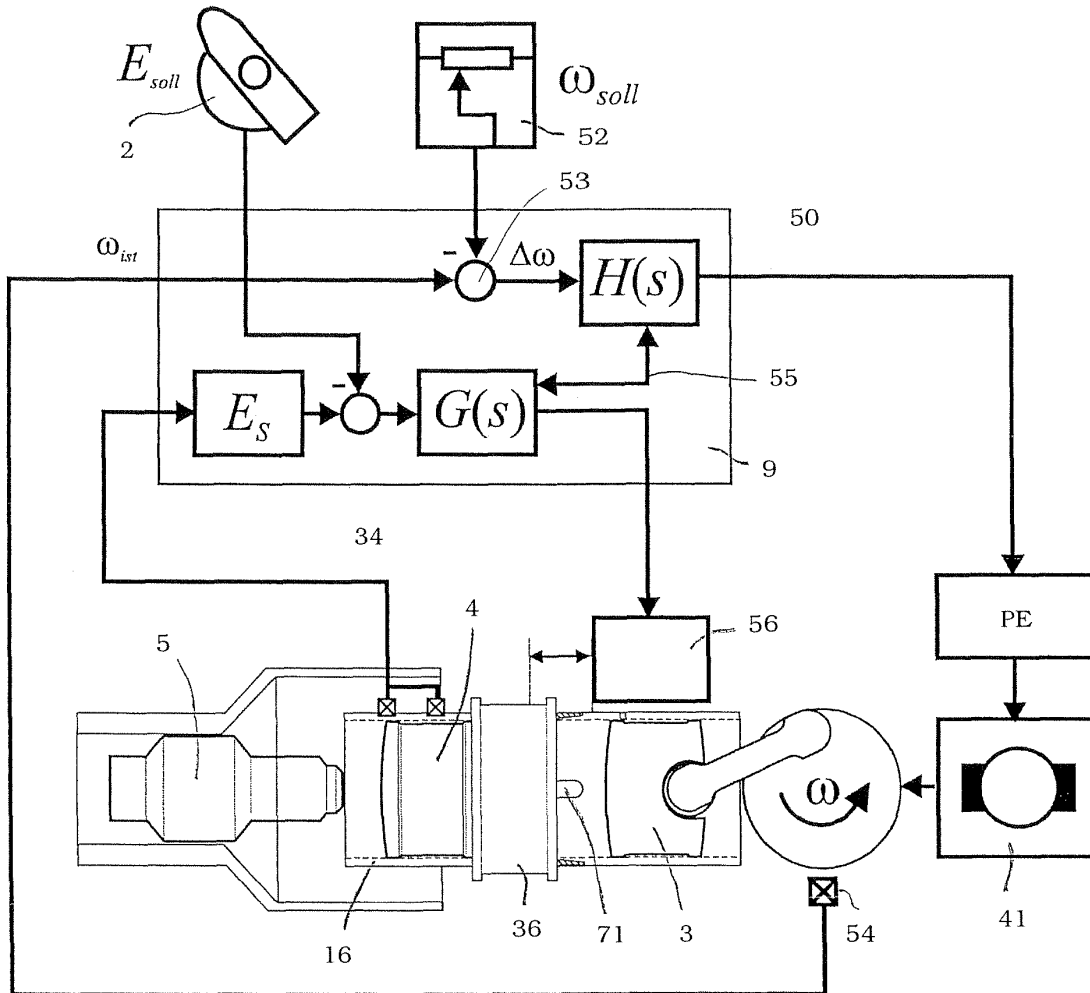


Fig. 14

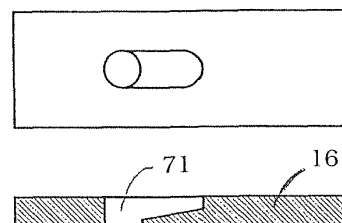


Fig. 15

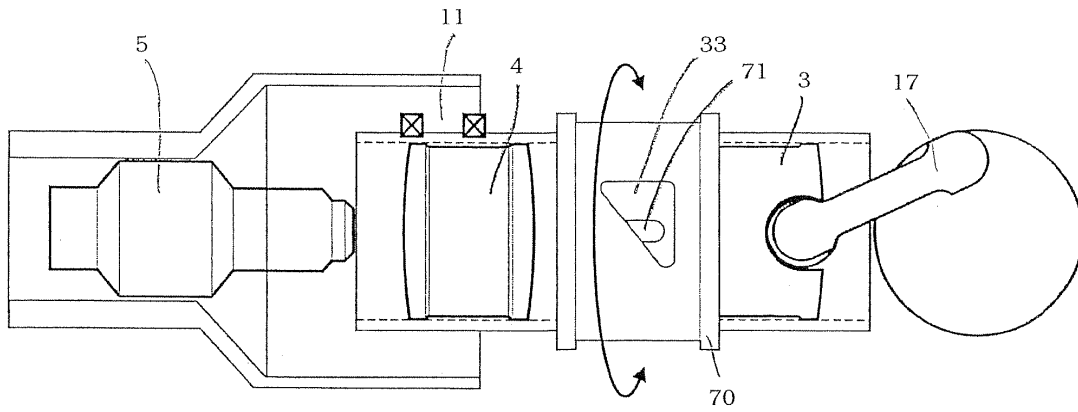


Fig. 16

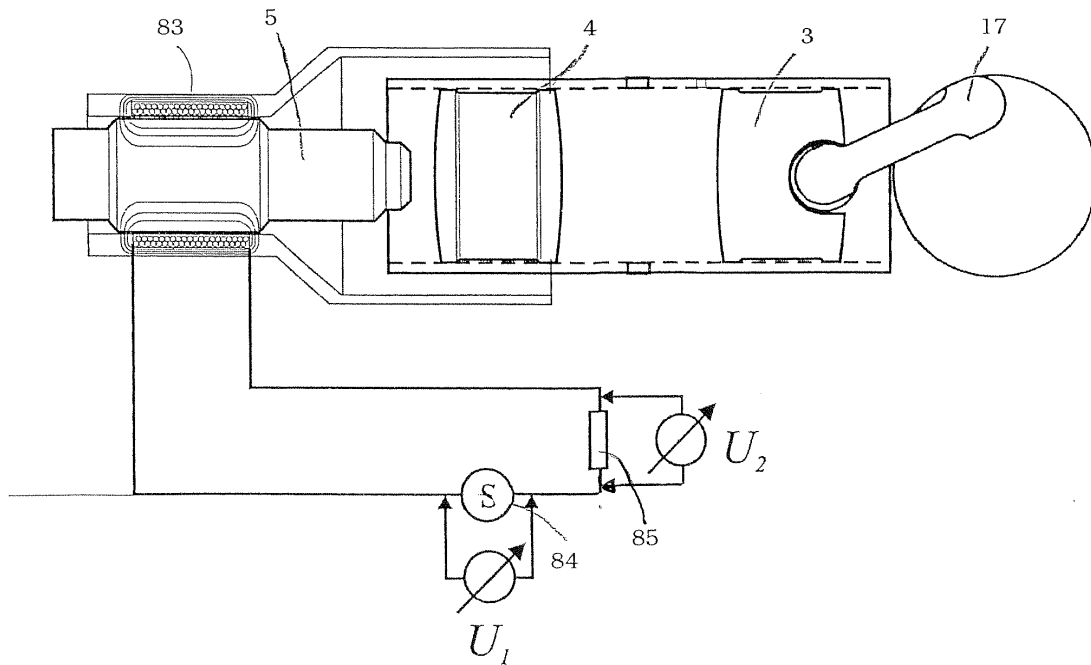
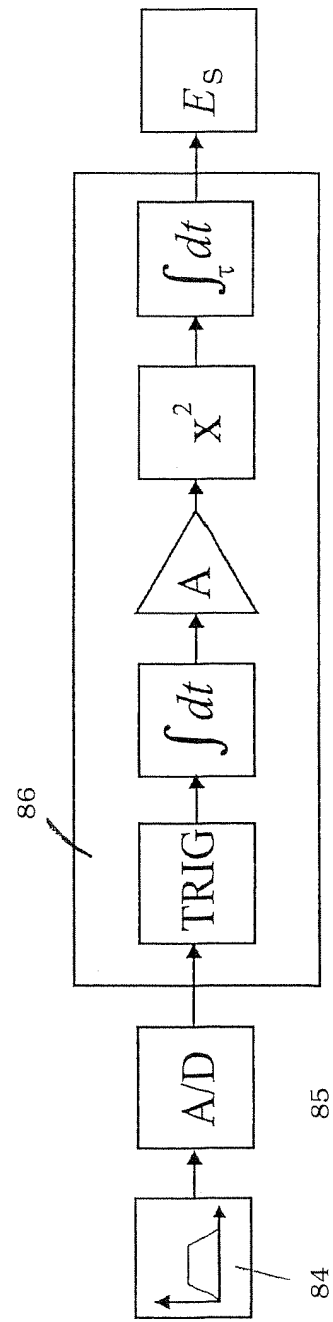


Fig. 17





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 04 10 2795

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
Y	EP 1 375 077 A (HILTI AG) 2. Januar 2004 (2004-01-02) * Absatz [0008] - Absatz [0028]; Abbildungen 1,2 *	1-10,13, 15-20	B25D11/00 B25D11/12
Y	US 2002/003045 A1 (BONGERS-AMBROSIUS HANS-WERNER) 10. Januar 2002 (2002-01-10) * Absatz [0005] - Absatz [0015]; Abbildung 1 *	1-10,13, 15-20	
Y	GB 2 145 959 A (VNII PK I MECHANIZIROVANNOGO) 11. April 1985 (1985-04-11) * Seite 1, Zeile 117 - Seite 5, Zeile 22; Abbildungen 1-8 *	7-10	
A	US 4 699 223 A (NOREN JOHN P) 13. Oktober 1987 (1987-10-13) * Spalte 2, Zeile 1 - Spalte 4, Zeile 67; Abbildungen 1-5 *	1	
A	US 4 820 962 A (MILLAUER WOLFGANG) 11. April 1989 (1989-04-11) * Spalte 1, Zeile 31 - Spalte 7, Zeile 46; Abbildung 1 *	1	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
A	WO 88/06508 A (BOSCH GMBH ROBERT) 7. September 1988 (1988-09-07) * Seite 7, Zeile 20 - Seite 23, Zeile 14; Abbildungen 1-12 *	1	B25D
A	DE 43 06 524 A (BROCKMANN PETER) 8. September 1994 (1994-09-08) * Spalte 1, Zeile 3 - Spalte 2, Zeile 46; Abbildungen 1,2 *	1	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
Den Haag		14. Dezember 2004	Rilliard, A
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

5

EPO FORM 1503 03.82 (P04003)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 04 10 2795

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

14-12-2004

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1375077	A	02-01-2004	DE 10219950 C1	30-10-2003
			EP 1375077 A2	02-01-2004
			JP 2003326475 A	18-11-2003
			US 2003205393 A1	06-11-2003
US 2002003045	A1	10-01-2002	DE 10033362 A1	17-01-2002
			AU 5193901 A	10-01-2002
			CN 1332062 A	23-01-2002
			EP 1170095 A2	09-01-2002
			JP 2002059376 A	26-02-2002
			ZA 200105554 A	17-01-2002
GB 2145959	A	11-04-1985	SU 1256950 A1	15-09-1986
			AT 284684 A	15-07-1989
			CH 664319 A5	29-02-1988
			CS 8404196 A1	11-06-1987
			DD 255641 A3	13-04-1988
			DE 3423493 A1	28-03-1985
			SE 456595 B	17-10-1988
			SE 8404461 A	07-03-1985
			YU 149384 A1	29-02-1988
US 4699223	A	13-10-1987	SE 444528 B	21-04-1986
			DE 3402668 A1	26-07-1984
			FI 840302 A	27-07-1984
			SE 8300390 A	27-07-1984
US 4820962	A	11-04-1989	DE 3637128 A1	05-05-1988
			AT 80236 T	15-09-1992
			AU 584528 B2	25-05-1989
			AU 8050387 A	05-05-1988
			CA 1326527 C	25-01-1994
			DE 3781521 D1	08-10-1992
			EP 0269562 A2	01-06-1988
			ES 2033924 T3	01-04-1993
			JP 2548238 B2	30-10-1996
			JP 63123647 A	27-05-1988
WO 8806508	A	07-09-1988	DE 3707051 A1	15-09-1988
			DE 3707052 A1	15-09-1988
			DE 3884522 D1	04-11-1993
			WO 8806508 A2	07-09-1988
			EP 0303651 A1	22-02-1989
DE 4306524	A	08-09-1994	DE 4306524 A1	08-09-1994

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82