

(19)



(11)

EP 3 183 455 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
21.04.2021 Patentblatt 2021/16

(51) Int Cl.:
F04B 17/04 ^(2006.01) **F04B 49/06** ^(2006.01)
H01F 7/18 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15759632.1**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2015/001604

(22) Anmeldetag: **04.08.2015**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2016/026551 (25.02.2016 Gazette 2016/08)

(54) VERFAHREN ZUR STEUERUNG EINER HUBKOLBENPUMPE UND VORRICHTUNG ZUR AUSFÜHRUNG DES VERFAHRENS

METHOD FOR CONTROLLING A RECIPROCATING PISTON PUMP AND DEVICE FOR CARRYING OUT THE METHOD

PROCÉDÉ DE COMMANDE D'UNE POMPE À PISTON ALTERNATIF ET DISPOSITIF POUR METTRE EN UVRE LE PROCÉDÉ

(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

(30) Priorität: **19.08.2014 DE 102014012307**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
28.06.2017 Patentblatt 2017/26

(73) Patentinhaber:
• **Thomas Magnete GmbH**
57562 Herdorf (DE)
• **Technische Universität Dresden**
01069 Dresden (DE)

(72) Erfinder:
• **MÜLLER, Axe**
57072 Siegen (DE)
• **KRAMER, Thomas**
01 169 Dresden (DE)
• **PETZOLD, Martin**
01187 Dresden (DE)
• **WEBER, Jürgen**
01139 Dresden (DE)
• **OHLIGSCHLÄGER, Olaf**
57520 Grünebach (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A1- 10 020 896 DE-A1- 10 033 923
DE-A1-102011 088 699

EP 3 183 455 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

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung einer Hubkolbenpumpe entsprechend dem Oberbegriff des ersten Patentanspruchs und eine Vorrichtung zur Nutzung des Verfahrens.

[0002] Elektromagnetisch angetriebene Hubkolbenpumpen werden zur Förderung und Dosierung von Brennstoffen und Reagenzien eingesetzt, sind kostengünstig herstellbar und können wegen ihrer pulsierenden Arbeitsweise mit einstellbarer Fördermenge betrieben werden, wenn die Frequenz der Pulse verändert wird.

[0003] Elektromagnetisch angetriebene Hubkolbenpumpen bestehen aus einem Elektromagneten und einer fluidischen Verdrängereinheit, in der das Arbeitsfluid angesaugt, ausgestoßen und unter Druck gesetzt wird. Elektromagnet und Verdrängereinheit sind meist durch gemeinsame Bauteile untrennbar miteinander verbunden, und wenn die Bauform eines durchströmten Elektromagneten gewählt wird, ist keine Stangendichtung zwischen dem Elektromagneten und der Verdrängereinheit erforderlich.

[0004] Ein Nachteil der üblichen Betriebsweise dieser Hubkolbenpumpen liegt in der Bestromung der Magnetspule bis zum Ende der Bewegung des Magnetankers und zeitlich sogar darüber hinaus, was erforderlich ist, wenn ohne weitere Maßnahmen unter allen Betriebsbedingungen ein vollständiger Hub erreicht werden soll. Die beschriebene Bestromung bewirkt ein hartes Anschlagen des Magnetankers mit entsprechend hohem Geräusch und einen geringen Wirkungsgrad des elektromagnetischen Antriebs. Entsprechend ergibt sich auch ein hartes Anschlagen bei einer Rückkehr des Magnetankers in die Ruheposition, wenn die Rückstellfeder den Magnetanker bei abgeschaltetem Elektromagnet ungebremst zurückbewegt.

[0005] Aus der Patentliteratur sind verschiedene Verfahren zur Behebung der genannten Nachteile bekannt, die aber teils sehr aufwändig und teils unbefriedigend sind.

[0006] Die DE 100 33 923 A1 beschreibt ein Verfahren zur Positionsbestimmung eines Ankers in einem elektromagnetischen Stellsystem. Es ist insbesondere für die Anwendung in Anordnungen geeignet, die durch zwei gegeneinander arbeitenden Magneten mit einem gemeinsamen Anker und einem gemeinsamen Rückstellfedersystem charakterisiert sind (Umkehrhubmagnete). Die Positionsbestimmung erfolgt durch die Auswertung der durch die Bewegung des Ankers verursachten Strom- und Spannungsänderungen an einer Erreger- oder Meßspule auf der Basis des vollständigen nichtlinearen PSI (x, i)-Kennlinienfeldes, welches durch die geometrische Konstruktion des elektromagnetischen Stellsystems einschließlich der verwendeten Materialien eindeutig charakterisiert ist.

[0007] Die DE 100 20 896 A1 beschreibt ein Verfahren zur Bestimmung der Position eines Ankers eines Stellantriebs. Hierzu wird der Strom und gegebenenfalls der

Spannungsabfall an einer Erregerspule ermittelt, daraus der magnetische Fluß durch die Erregerspule ermittelt und mittels eines Kennfelds, das den Zusammenhang zwischen Fluß und Position abbildet, die Wegposition bestimmt.

[0008] Die DE 10 2011 088 699 A1 offenbart ein Verfahren zum Steuern einer elektrischen Hubkolbenpumpe, insbesondere einer Hubkolbenmembranpumpe im Fördermodul eines SCR Dosiersystems, wobei die Position des Hubkolbens der Hubkolbenpumpe aus der Änderung des Pumpenstromverlaufs ermittelt wird. Ein Computerprogramm führt die Schritte des Verfahrens aus, wenn es auf einem Rechnergerät abläuft. Ein Computerprogrammprodukt mit Programmcode, der auf einem maschinenlesbaren Träger gespeichert ist, dient zur Durchführung des Verfahrens, wenn das Programm auf einem Computer oder Steuergerät ausgeführt wird.

- Die Druckschrift DE 199 82 757 B4 beschreibt ein Verfahren zur Ansteuerung einer Brennstoffdosierpumpe, bei dem sowohl elektrische als auch fluidische Zustandsgrößen gemessen werden und die Messwerte zur Veränderung der Spannung am Elektromagneten verwendet werden.
- Die Druckschrift DE 10 2004 002 454 B4 beschreibt ein Verfahren zum Betreiben einer Dosierpumpe, bei dem ein Tastverhältnis für eine Modulation der Versorgungsspannung während eines Ansteuerintervalls verändert wird.
- Die Druckschrift DE 101 27 996 A1 beschreibt eine Pumpvorrichtung und eine Regelvorrichtung, bei der aus einer Messung des Verlaufs des Spulenstroms auf die Lage des Magnetankers geschlossen wird und lageabhängig die Spannung geschaltet wird, um den Magnetanker vor Erreichen des Endanschlags abzubremesen.

[0009] Die bekannten Verfahren weisen alle mindestens die folgenden Nachteile auf:

- Die Änderungen der Umgebungsbedingungen der Steuerung und der Hubkolbenpumpe, insbesondere Änderungen der Versorgungsspannung und der Spulentemperatur, werden unzureichend erfasst und berücksichtigt, und das beeinträchtigt die Qualität des Steuerverfahrens.
- Dem Schätzverfahren für den Magnetankerhub liegt kein mathematisches Modell des antreibenden Elektromagneten zugrunde, damit kann nur eine recht grobe Schätzung vorgenommen werden, vor allem wegen des nichtlinearen Verhaltens von Elektromagneten.
- Vorhandene Kenntnisse über den verwendeten Elektromagneten, die sich an einem Prüfstand mit vertretbarem Aufwand ermitteln lassen, werden nicht oder unzureichend erfasst und berücksichtigt, wodurch wiederum die Qualität des Steuerverfahrens leidet.

[0010] In der Dissertation "Entwurf von magnetischen Mini- und Mikroaktoren mit stark nichtlinearem Magnetkreis" von Dr. M. Kallenbach (TU Ilmenau) wird ein Verfahren zur Schätzung einer Magnetposition aus Messwerten der Spannung, des Stroms und berechneten Werten des verketteten Magnetflusses beschrieben, das auch für nichtlineare Magnetsysteme recht genaue Werte für die Magnetposition ermittelt. Eine Anwendung des Verfahrens auf die Steuerung einer Hubkolbenpumpe wird nicht beschrieben.

[0011] Dieser Erfindung stellt sich die Aufgabe, eine Steuerung einer elektromagnetisch angetriebenen Hubkolbenpumpe zu beschreiben, die durch Schalten der den Elektromagneten beaufschlagenden Spannung in Abhängigkeit von der Lage des Magnetankers die Geschwindigkeit des Magnetankers beeinflusst. Dabei soll die Lage des Magnetankers nicht gemessen, sondern aus anderen gemessenen oder berechneten Zustandsgrößen des Elektromagneten bestimmt werden. Kenntnisse über wesentliche Eigenschaften des Elektromagneten, insbesondere nichtlineare Eigenschaften, sollen vor dem bestimmungsgemäßen Betrieb ermittelt und in geeigneter Form in der Steuerung abgelegt werden.

[0012] Die Lösung der Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des ersten Patentanspruchs und die weiteren Ansprüche beschrieben. Zwei Nebenanprüche beschreiben die Vorrichtung zur Ausführung des erfinderischen Verfahrens näher.

[0013] Dem erfinderischen Verfahren liegt ein mathematisches Modell des antreibenden Elektromagneten zugrunde, darin wird das Zeitverhalten des Elektromagneten durch die Zustandsgrößen Spannung, Spulenstrom, Spulenwiderstand, verketteter Magnetfluss, Magnetankergeschwindigkeit und Magnetankerweg beschrieben. Diese Zustandsgrößen sind bei einer simultanen Betrachtung voneinander unabhängig, aber dynamisch beeinflussen sie sich gegenseitig.

Während die Spannung und der Spulenstrom mittels einer Messeinrichtung gemessen werden, wird der Spulenwiderstand aus der Spannung und dem Spulenstrom berechnet. Der verkettete Magnetfluss des Elektromagneten kann nicht simultan aus den anderen Zustandsvariablen berechnet werden, es kann nur die erste zeitliche Ableitung des verketteten Magnetflusses aus der Spannung, dem Spulenstrom und dem Spulenwiderstand simultan berechnet werden. Als verketteter Magnetfluss wird das Integral über die Durchtrittsfläche aller örtlichen magnetischen Flussdichten an dem aufgeschnitten gedachten Magnetkreis verstanden.

Der verkettete Magnetfluss wird vorzugsweise aus einem Anfangswert und seiner zeitlichen ersten Ableitung durch eine numerische Integration berechnet, und mit einem ausreichend leistungsfähigen Prozessor kann dies in Echtzeit, also während des Magnethubes, geschehen.

Alternativ zur numerischen Integration der Zustandsgrößen könnten andere mathematische Verfahren zur Berechnung des zeitlichen Verlaufs dieser Zustandsgrößen

auf der Basis vereinfachter linearer Modelle verwendet werden, die weniger Rechenleistung erfordern, aber weniger genau sind, weil lineare Modelle die wichtigen Nichtlinearitäten eines Elektromagneten nicht ausreichend abbilden können.

In dieser numerischen Integration könnten bei einer Kenntnis des verketteten Magnetflusses auch die Beschleunigung, die Geschwindigkeit und der Hub des Magnetankers berechnet werden. Genauer und schneller lässt sich der Hub des Magnetankers aber aus einer vorher ermittelten und abgespeicherten Tabelle entnehmen, in der der Hub des Magnetankers als Funktion des Spulenstroms und des verketteten Magnetflusses aufgetragen ist. Eine solche Tabelle zeigt die starke, aber nichtlineare Abhängigkeit des verketteten Magnetflusses als Funktion des Spulenstroms von dem variablen Luftspalt und damit von dem Magnethub. Die Anwendung dieser Tabelle ist zwar ein Schätzverfahren und insofern mit Ungenauigkeiten behaftet, aber die Tabelle berücksichtigt die besonderen nichtlinearen Eigenschaften der verwendeten Elektromagneten, wie sie für die Gattung dieses Elektromagneten bei Messungen auf einem Prüfstand aufgenommen wurden, und ermöglicht deshalb eine erheblich höhere Genauigkeit in der Gesamtheit.

Eine weitere Verbesserung der Schätzung des Magnetankerhubs erreicht man, wenn man für unterschiedliche wirksame Spannungen und beide möglichen Richtungen der Spannungsänderung an der Magnetspule jeweils Messungen auf einem Prüfstand vornimmt und damit unterschiedliche Tabellen erstellt und verwendet. Dabei fließen dann die nichtlinearen Wirkungen der Sättigung des Eisens, der Magnethysterese und der Wirbelströme in die Tabellen und damit in das Schätzverfahren ein.

[0014] Die Berechnung des verketteten Magnetflusses kann hinsichtlich ihrer Genauigkeit bei Bedarf noch verbessert werden, wenn bei der Berechnung des verketteten Magnetflusses die Vormagnetisierung des Magnetankers und des Eisenrückschlusses aus der Vorschichte des zeitlichen Verlaufs des verketteten Magnetflusses als Anfangswert der numerischen Integration berücksichtigt wird. Der Eisenrückschluss besteht aus den magnetflussleitenden Bauteilen Magnetpol, Gehäuse und Joch, bildet also zusammen mit dem Magnetanker einen annähernd geschlossenen Magnetkreis, unterbrochen nur durch den Luftspalt zwischen dem Magnetanker und dem Magnetpol.

[0015] Bei einer Kenntnis des Hubs des Magnetankers kann die wirksame Spannung an der Magnetspule beispielsweise durch Ein- oder Abschalten oder eine geeignete Pulsweitenmodulation oder Pulsdauermodulation durch die Steuerung so verändert werden, dass sowohl bei der Arbeitsbewegung als auch der Rückstellbewegung des Magnetankers der Magnetanker rechtzeitig vor dem Anschlagen an dem jeweiligen Endanschlag abgebremst wird. Als wirksame Spannung wird die mittlere Gleichspannung gleicher Wirkung wie die durch Modulation erzeugte Spannung verstanden.

[0016] Für den Rückhub des Magnetankers kann das beschriebene Berechnungs- und Schätzverfahren mit geringen Abwandlungen ebenfalls verwendet werden. Auch beim Rückhub fließt Strom durch die Magnetspule, denn die Spuleninduktivität lässt den Strom nur langsam abklingen. Der Strom kann gemessen werden, und es kann auf den verketteten Magnetfluss geschlossen werden. Wenn der durch das beschriebene Verfahren geschätzte Magnetankerhub einen solchen Wert erreicht, der ein Abbremsen der Rückhubbewegung sinnvoll macht, erhöht die elektrische Steuerung die wirksame Spannung auf einen Wert, der eine geeignete Abbremsung bewirkt.

[0017] Bei der Schätzung des Magnetankerhubs ist eine Tabelle für den Hub, den Spulenstrom und den verketteten Magnetfluss zu verwenden, die bei entsprechend kleinen Spannungen und bei negativen Spannungsänderungen ermittelt wurde. Damit kann das nicht-lineare Verhalten der Magnetwerkstoffe angemessen berücksichtigt werden.

Zusammenfassend ist die Erfindung dadurch ausgezeichnet, dass so weit wie irgend möglich vorhandenes Wissen über den Elektromagneten genutzt wird, um eine möglichst genaue Schätzung des Magnetankerhubs anhand der zeitlichen Verläufe des Spulenstroms und der Spannung vorzunehmen.

Hubkolbenpumpen der beschriebenen Art und ihre elektrischen Steuerungen werden zur Förderung und/oder Dosierung von Brennstoffen und Reagenzien in Fahrzeugen und mobilen Arbeitsmaschinen eingesetzt.

Bilder: Fig. 1 zeigt die Vorrichtung bestehend aus Hubkolbenpumpe und elektrischer Steuerung.

Beispielhafte Ausführung.

[0018] Die Vorrichtung gemäß Fig.1 besteht aus einer Hubkolbenpumpe (1) und einer elektrischen Steuerung (10), wobei die Hubkolbenpumpe aus einem Elektromagneten (2) und einem durch eine Feder (4) belasteten Verdränger (3) besteht.

Der Elektromagnet ist aus einer Magnetspule (5), einem Eisenrückschluss (6) und einem Magnetanker (7) aufgebaut.

Eine Spannungsversorgung (9) stellt der Vorrichtung elektrische Leistung zur Verfügung, wobei die Spannung in einem vorgegebenen Bereich schwanken kann, beispielsweise zwischen 9V und 16V. In einer elektrischen Steuerung (10) wird die elektrische Spannung mittels einer Schalteinrichtung (12) geschaltet und in einer Messeinrichtung (13) werden die wirksame Spannung und der sich ergebende Strom gemessen.

Die Magnetspule wird von der elektrischen Steuerung (10) mit gepulster elektrischer Leistung versorgt, wobei die elektrische Steuerung (10) auch einen speicherprogrammierbaren Prozessor (11) enthält.

Der Prozessor(11) berechnet

- den elektrischen Widerstand der Magnetspule (5)

aus den von der Messeinrichtung (13) gemessenen Werten der elektrischen Spannung und des elektrischen Stroms

- die zeitliche Änderung des verketteten Magnetflusses in dem Elektromagneten (2) aus der elektrischen Spannung, dem elektrischen Strom und dem elektrischen Widerstand der Magnetspule (5)
- den verketteten Magnetfluss in dem Elektromagneten (2) aus einem vorher berechneten oder geschätzten Magnetfluss und der zeitlichen Änderung

Mittels des Rechenwerts des verketteten Magnetflusses und dem gemessenen elektrischen Strom durch die Magnetspule (5) wird die Lage des Magnetankers (7) bestimmt.

In Abhängigkeit von der Lage des Magnetankers (7) wird die elektrische Spannung an der Magnetspule (5) mittels der Schalteinrichtung (12) geschaltet.

Es wird aus einer vor dem bestimmungsgemäßen Betrieb der Steuerung (10) durch Messungen und/oder Berechnungen ermittelten und in dem Prozessor (11) abgespeicherten Tabelle mit zugeordneten Werten von dem elektrischen Strom, dem verketteten Magnetfluss und der Lage des Magnetankers (7) durch den Prozessor (11) in der Steuerung (10) die gegenwärtige Lage des Magnetankers (7) durch ein Schätzverfahren bestimmt.

[0019] Die Schätzung der Lage des Magnetanker (7) wird verbessert, indem bei unterschiedlichen wirksamen Spannungen an der Magnetspule (5) der Spannung und/oder der Spannungsänderung entsprechende vorher ermittelte Tabellen mit jeweils zugeordneten Werten von dem elektrischen Strom, dem verketteten Magnetfluss und der Lage des Magnetankers (7) verwendet werden.

[0020] Die Bestimmung der gegenwärtigen Lage des Magnetankers wird in der Steuerung (11) aus mindestens einer vor dem bestimmungsgemäßen Betrieb der Steuerung (10) berechneten und in der Steuerung (11) abgespeicherten Tabelle mit zugeordneten Werten von dem elektrischen Strom, dem verketteten Magnetfluss und der Lage des Magnetankers (7) durch ein Schätzverfahren vorgenommen.

Vorteilhafterweise wird die Berechnung des verketteten Magnetflusses verbessert, indem bei der Berechnung des verketteten Magnetflusses die Vormagnetisierung des Magnetankers (7) und des Eisenrückschlusses (6) aus der Vorgeschichte des zeitlichen Verlaufs des verketteten Magnetflusses mittels des Anfangswerts berücksichtigt wird.

[0021] Eine weitere Verbesserung der Schätzung der Lage des Magnetanker (7) wird erreicht, indem bei unterschiedlichen wirksamen Spannungen und Spannungsänderungen an der Magnetspule (5) entsprechende vorher ermittelte Tabellen für unterschiedliche Spannungen und Spannungsänderungen mit jeweils zugeordneten Werten von dem elektrischen Strom, dem verketteten Magnetfluss und der Lage des Magnetankers (7) verwendet werden. Dadurch fließen dann die Wirkungen

der Nichtlinearität der Materialeigenschaften, der Magnethysterese und der Wirbelströme in das Schätzverfahren ein.

[0022] Die Bestimmung des verketteten Magnetflusses in dem Elektromagneten (2) erfolgt vorzugsweise in dem speicherprogrammierbaren Prozessor (11) durch eine in Echtzeit ablaufende Berechnung der elektrischen und magnetischen Zustandsgrößen des Elektromagneten durch eine numerische Integration.

[0023] In Abhängigkeit von der Lage des Magnetankers (7) wird, wenn erforderlich, in der elektrischen Steuerung (10) mittels der Schalteinrichtung (12) die elektrische Spannung an der Magnetspule (5) abgeschaltet oder mehrfach aus- und eingeschaltet, so dass die wirksame Spannung im Sinne einer Pulsweitenmodulation oder einer Pulsdauermodulation im Vergleich zur Spannung einer Spannungsversorgung (9) im zeitlichen Mittel in ihrer Wirkung vermindert wird.

Damit kann bei der Vorwärtsbewegung des Magnetankers (7) gegen die Kraft der Feder (4) die Bewegung des Magnetankers so weit abgebremst werden, dass der Magnetanker nur noch mit einer sehr geringen Restgeschwindigkeit in seinen vorderen Anschlag fährt.

Bei der Rückstellung des Magnetankers (7) durch die Feder (4) klingt der Strom durch die Magnetspule aufgrund der Spuleninduktivität nur langsam ab. Auch dabei wird der Strom durch die Magnetspule von der Messeinrichtung (13) gemessen und über die Berechnung des verketteten Magnetflusses zur Bestimmung der Lage des Magnetankers genutzt, wobei für den Magnetankershub eine für kleine Spannungen und negative Spannungsänderungen vorausberechnete Tabelle ausgewählt wird, die auch den Spulenstrom und den verketteten Magnetfluss enthält.

In dieser Betriebsart wird die Information über die Lage des Magnetankers in der elektrischen Steuerung (10) genutzt, um abhängig von der Lage des Magnetankers die wirksame mittlere Spannung an der Magnetspule (5) zu erhöhen und damit die Bewegung des Magnetankers abzubremesen.

Liste der Bezugszeichen

[0024]

1. Hubkolbenpumpe
2. Elektromagnet
3. Verdrängereinheit
4. Feder
5. Magnetspule
6. Eisenrückschluss
7. Magnetanker
9. Spannungsversorgung
10. Elektrische Steuerung
11. Speicherprogrammierbarer Prozessor
12. Schalteinrichtung
13. Messeinrichtung

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung einer Hubkolbenpumpe (1), bestehend aus einem Elektromagneten (2) und einer durch eine Feder (4) belasteten Verdrängereinheit (3), wobei der Elektromagnet aus einer Magnetspule (5), einem Eisenrückschluss (6) und einem Magnetanker (7) aufgebaut ist, mittels einer elektrischen Steuerung (10), die einen speicherprogrammierbaren Prozessor (11), eine Schalteinrichtung (12) und eine Messeinrichtung (13) aufweist, wobei der Prozessor (11)

- den elektrischen Widerstand der Magnetspule (5) aus den von der Messeinrichtung (13) gemessenen Werten der elektrischen Spannung und des elektrischen Stroms berechnet und
- die zeitliche Änderung des verketteten Magnetflusses in dem Elektromagneten (2) aus der elektrischen Spannung, dem elektrischen Strom und dem elektrischen Widerstand der Magnetspule (5) berechnet und
- den verketteten Magnetfluss in dem Elektromagneten (2) aus einem vorher berechneten oder geschätzten Magnetfluss und der zeitlichen Änderung berechnet und
- die Lage des Magnetankers (7) aus dem berechneten verketteten Magnetfluss in dem Elektromagneten (2) und dem gemessenen elektrischen Strom durch die Magnetspule (5) bestimmt und
- in Abhängigkeit von der Lage des Magnetankers (7) die wirksame elektrische Spannung an der Magnetspule (5) mittels der Schalteinrichtung (12) beeinflusst, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- aus einer vor dem bestimmungsgemäßen Betrieb der Steuerung (10) durch Messungen und/oder Berechnungen ermittelten und in dem Prozessor (11) abgespeicherten Tabelle mit zugeordneten Werten von dem elektrischen Strom, dem verketteten Magnetfluss und der Lage des Magnetankers (7) durch den Prozessor (11) in der Steuerung (10) die gegenwärtige Lage des Magnetankers (7) durch ein Schätzverfahren bestimmt wird,
- die Schätzung der Lage des Magnetankers (7) verbessert wird, indem bei unterschiedlichen wirksamen Spannungen an der Magnetspule (5) der Spannung und/oder der Spannungsänderung entsprechende vorher ermittelte Tabellen mit jeweils zugeordneten Werten von dem elektrischen Strom, dem verketteten Magnetfluss und der Lage des Magnetankers (7) verwendet werden.

2. Verfahren zur Steuerung einer Hubkolbenpumpe nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet, dass**

die Berechnung des verketteten Magnetflusses verbessert wird, indem bei der Berechnung des verketteten Magnetflusses die Vormagnetisierung des Magnetankers (7) und des Eisenrückschlusses (6) aus der Vorgeschichte des zeitlichen Verlaufs des verketteten Magnetflusses bei der numerischen Integration mittels des Anfangswerts berücksichtigt wird.

3. Verfahren zur Steuerung einer Hubkolbenpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 2 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Berechnung des verketteten Magnetflusses in dem Elektromagneten (2) durch eine in Echtzeit ablaufende numerische Integration von elektrischen und magnetischen Zustandsgrößen des Elektromagneten erfolgt.
4. Verfahren zur Steuerung einer Hubkolbenpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 3 **dadurch gekennzeichnet, dass** mittels der Schalteinrichtung (12) die wirksame elektrische Spannung an der Magnetspule (5) in Abhängigkeit von der Lage des Magnetankers (7) einfach ausgeschaltet oder mehrfach aus- und eingeschaltet wird, so dass sie im Sinne einer durch Schalten bewirkten Modulation im Vergleich zur Spannung einer Spannungsversorgung (9) im zeitlichen Mittel in ihrer Wirkung vermindert wird.
5. Verfahren zur Steuerung einer Hubkolbenpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 4 **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der Rückstellung des Magnetankers (7) durch die Feder (4) ein wegen der Spuleninduktivität langsam abklingender elektrischer Strom durch die Magnetspule von der Messeinrichtung (13) gemessen wird und über die Berechnung des verketteten Magnetflusses zur Bestimmung der Lage des Magnetankers genutzt wird, wobei eine entsprechend einer geringen wirksamen Spannung und einer negativen Spannungsänderung ausgewählte vorausberechnete Tabelle mit zugeordneten Werten von dem elektrischen Strom, dem verketteten Magnetfluss und der Lage des Magnetankers (7) verwendet wird.
6. Verfahren zur Steuerung einer Hubkolbenpumpe nach Anspruch 5 **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der Rückstellung des Magnetankers (7) durch die Feder (4) die Information über die Lage des Magnetankers in der elektrischen Steuerung (10) genutzt wird, um abhängig von der Lage des Magnetankers die wirksame Spannung an der Magnetspule (5) zu erhöhen und damit die Bewegung des Magnetankers abzubremesen.
7. Vorrichtung zur Ausführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Vorrichtung aus einer Hubkolbenpumpe (1) und einer elektrischen Steuerung (10) besteht und wobei die Hubkolbenpumpe aus einem Elektromagneten (2) und

einer durch eine Feder (4) belasteten Verdrängereinheit (3) besteht, wobei der Elektromagnet aus einer Magnetspule (5), einem Eisenrückschluss (6) und einem Magnetanker (7) aufgebaut ist, und wobei die elektrische Steuerung (10) einen speicherprogrammierbaren Prozessor (11), eine Schalteinrichtung (12) und eine Messeinrichtung (13) aufweist

dadurch gekennzeichnet, dass

der speicherprogrammierbare Prozessor (11) mindestens eine vor dem bestimmungsgemäßen Betrieb der Steuerung (10) berechnete Tabelle enthält, mit zugeordneten Werten von dem elektrischen Strom durch die Magnetspule (5), dem verketteten Magnetfluss in dem Elektromagneten (2) und der Lage des Magnetankers (7), wobei diese Tabelle oder diese Tabellen dem Prozessor (11) ermöglichen, aufgrund einer Mehrzahl von Messungen des elektrischen Stroms mittels einer Messeinrichtung (13) die Lage des Magnetankers (7) durch ein Schätzverfahren zu bestimmen.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7 **dadurch gekennzeichnet, dass** die elektrische Steuerung (10) mittels eines speicherprogrammierbaren Prozessors (11) und einer Schalteinrichtung (12) die wirksame mittlere elektrische Spannung an der Magnetspule (5) ankerhubabhängig relativ zur Spannung einer Spannungsversorgung (9) so absenkt, dass der Verlauf der Geschwindigkeit des Magnetankers in einer dem Prozessor (11) vorgegebenen Weise beeinflusst wird, wobei die Spannungsversorgung (9) elektrische Leistung an die Schalteinrichtung (12), darüber an die Messeinrichtung (13) und darüber an die Magnetspule (5) abgibt.

Claims

1. A method for controlling a reciprocating piston pump (1), consisting of an electromagnet (2) and a displacement unit (3) loaded by a spring (4), wherein the electromagnet is built of a magnetic coil (5), a magnetic yoke (6) and a magnetic armature (7), by means of an electrical controller (10), which has a memory-programmable processor (11), a switching device (12) and a measuring device (13), wherein the processor (11)
 - calculates the electrical resistance of the magnetic coil (5) from the values of the electrical voltage and of the electrical current measured by the measuring device (13) and
 - calculates the temporal change of the linked magnetic flux in the electromagnet (2) from the electrical voltage, the electrical current and the electric resistance of the magnetic coil (5) and
 - calculates the linked magnetic flux in the electromagnet (2) from a previously calculated or

estimated magnetic flux and the temporal change and

- determines the location of the magnetic armature (7) from the calculated linked magnetic flux in the electromagnet (2) and the measured electrical current through the magnetic coil (5) and
- depending on the location of the magnetic armature (7) influences the effective electrical voltage on the magnetic coil (5) by means of the switching device (12),

characterized in that

- the current location of the magnetic armature (7) is determined by means of an estimation process from a table determined prior to the appropriate operation of the controller (10) by measurements and/or calculations and stored in the processor (11) with assigned values of the electrical current, the linked magnetic flux and the location of the magnetic armature (7) by the processor (11) in the controller (10),

- the estimate of the location of the magnetic armature (7) is improved, by, in the event of different effective voltages on the magnetic coil (5) of the voltage and/or of the voltage change, using corresponding previously determined tables with respective assigned values of the electrical current, the linked magnetic flux and the location of the magnetic armature (7).

2. The method for controlling a reciprocal piston pump according to claim 1, **characterized in that** the calculation of the linked magnetic flux is improved **in that** in the calculation of the linked magnetic flux the premagnetization of the magnetic armature (7) and of the magnetic yoke (6) from the previous history of the temporal progression of the linked magnetic flux in the numerical integration by means of the initial value is taken into account.
3. The method for controlling a reciprocal piston pump according to any of claims 1 to 2, **characterized in that** the calculation of the linked magnetic flux in the electromagnet (2) occurs by means of a numerical integration of electric and magnetic state variables of the electromagnet taking place in real time.
4. The method for controlling a reciprocal piston pump according to any of claims 1 to 3, **characterized in that** by means of the switching device (12) the effective electrical voltage on the magnetic coil (5) is switched off once or switched on and off multiple times depending on the location of the magnetic armature (7), so that it is lessened in its effect within the sense of a modulation caused by switching in comparison to the voltage of a voltage supply (9) in over time.

5. The method for controlling a reciprocal piston pump according to any of claims 1 to 4, **characterized in that** in the retracted position of the magnetic armature (7) by means of the spring (4) an electrical current slowly subsiding due to the coil inductivity through the magnetic coil is measured by the measuring device (13) and via the calculation of the linked magnetic flux is used to determine the location of the magnetic armature, wherein a previously calculated table selected corresponding to a low effective voltage and a negative voltage change with assigned values of the electrical current, the linked magnetic flux and the location of the magnetic armature (7) is used.

6. The method for controlling a reciprocal piston pump according to claim 5, **characterized in that** in the retracted position of the magnetic armature (7) by means of the spring (4) the information about the location of the magnetic armature in the electrical controller (10) is used in order to increase the effective voltage in the magnetic coil (5) depending on the location of the magnetic armature and hence to slow down the movement of the magnetic armature.

7. An apparatus for carrying out the method according to any of claims 1 to 6, wherein the apparatus consists of a reciprocal piston pump (1) and an electrical controller (10) and wherein the reciprocal piston pump consists of an electromagnet (2) and a displacement unit (3) loaded by a spring (4), wherein the electromagnet is built of a magnetic coil (5), a magnetic yoke (6) and a magnetic armature (7), and wherein the electrical controller (10) has a memory-programmable processor (11), a switching device (12) and a measurement device (13),

characterized in that

the memory-programmable processor (11) contains at least one table calculated prior to the appropriate operation of the controller (10), with associated values of the electrical current through the magnetic coil (5), the linked magnetic flux in the electromagnet (2) and the location of the magnetic armature (7), wherein this table or these tables enable the processor (11) to determine by means of a measuring device (13) the location of the magnetic armature (7) by means of an estimation process on the basis of a plurality of measurements of the electrical current.

8. The apparatus according to claim 7, **characterized in that** the electrical controller (10) reduces, by means of a memory-programmable processor (11) and a switching device (12), the effective mean electrical voltage on the magnetic coil (5) depending on the armature stroke relative to the voltage of a voltage supply (9) such that the curve of the velocity of the magnetic armature is influenced in a manner predetermined by the processor (11), wherein the volt-

age supply (9) emits electrical power to the switching device (12), from there to the measurement device (13) and from there to the magnetic coil (5).

Revendications

1. Procédé de commande d'une pompe à piston (1), constituée d'un électro-aimant (2) et d'une unité volumétrique (3) sollicitée par un ressort (4), dans lequel l'électro-aimant est composé d'une bobine magnétique (5), d'une culasse en fer (6) et d'une armature d'électro-aimant (7), au moyen d'une commande (10) électrique qui présente un processeur (11) à mémoire programmable, un dispositif de commutation (12) et un dispositif de mesure (13), dans lequel le processeur (11)

- calcule la résistance électrique de la bobine magnétique (5) à partir des valeurs de la tension électrique et du courant électrique mesurées par le dispositif de mesure (13), et

- calcule la modification temporelle du flux magnétique concaténé dans l'électro-aimant (2) à partir de la tension électrique, du courant électrique et de la résistance électrique de la bobine magnétique (5), et

- calcule le flux magnétique concaténé dans l'électro-aimant (2) à partir d'un flux magnétique précédemment calculé ou estimé et de la modification temporelle, et

- détermine la position de l'armature d'électro-aimant (7) à partir du flux magnétique concaténé calculé dans l'électro-aimant (2) et du courant électrique mesuré par la bobine magnétique (5), et

- en fonction de la position de l'armature d'électro-aimant (7), influe sur la tension électrique agissante contre la bobine magnétique (5) au moyen du dispositif de commutation (12),

caractérisé en ce que

- à partir d'une table établie avant le fonctionnement normal de la commande (10) par des mesures et/ou des calculs et mémorisée dans le processeur (11), avec des valeurs attribuées du courant électrique, du flux magnétique concaténé et de la position de l'armature d'électro-aimant (7), la position actuelle de l'armature d'électro-aimant (7) est déterminée par le processeur (11) dans la commande (10) via un procédé d'estimation,

- l'estimation de la position de l'armature d'électro-aimant (7) est améliorée **en ce que**, lors de tensions agissantes différentes contre la bobine magnétique (5), des tables établies auparavant qui correspondent à la tension et/ou

à la modification de tension sont utilisées avec respectivement des valeurs attribuées du courant électrique, du flux magnétique concaténé et de la position de l'armature d'électro-aimant (7).

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

2. Procédé de commande d'une pompe à piston selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le calcul du flux magnétique concaténé est amélioré **en ce que**, lors du calcul du flux magnétique concaténé, la pré-magnétisation de l'armature d'électro-aimant (7) et de la culasse en fer (6) est prise en compte depuis l'antécédent du déroulement dans le temps du flux magnétique concaténé lors de l'intégration numérique au moyen de la valeur initiale.

3. Procédé de commande d'une pompe à piston selon l'une des revendications 1 à 2, **caractérisé en ce que** le calcul du flux magnétique concaténé dans l'électro-aimant (2) s'effectue via une intégration numérique qui se déroule en temps réel de grandeurs d'état électriques et magnétiques de l'électro-aimant.

4. Procédé de commande d'une pompe à piston selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce qu'**au moyen du dispositif de commutation (12) la tension électrique agissante contre la bobine magnétique (5) est simplement éteinte ou plusieurs fois éteinte et allumée en fonction de la position de l'armature d'électro-aimant (7), de sorte qu'elle soit réduite dans son action dans le moyen temporel dans le sens d'une modulation provoquée par commutation par comparaison avec la tension d'une alimentation en tension (9).

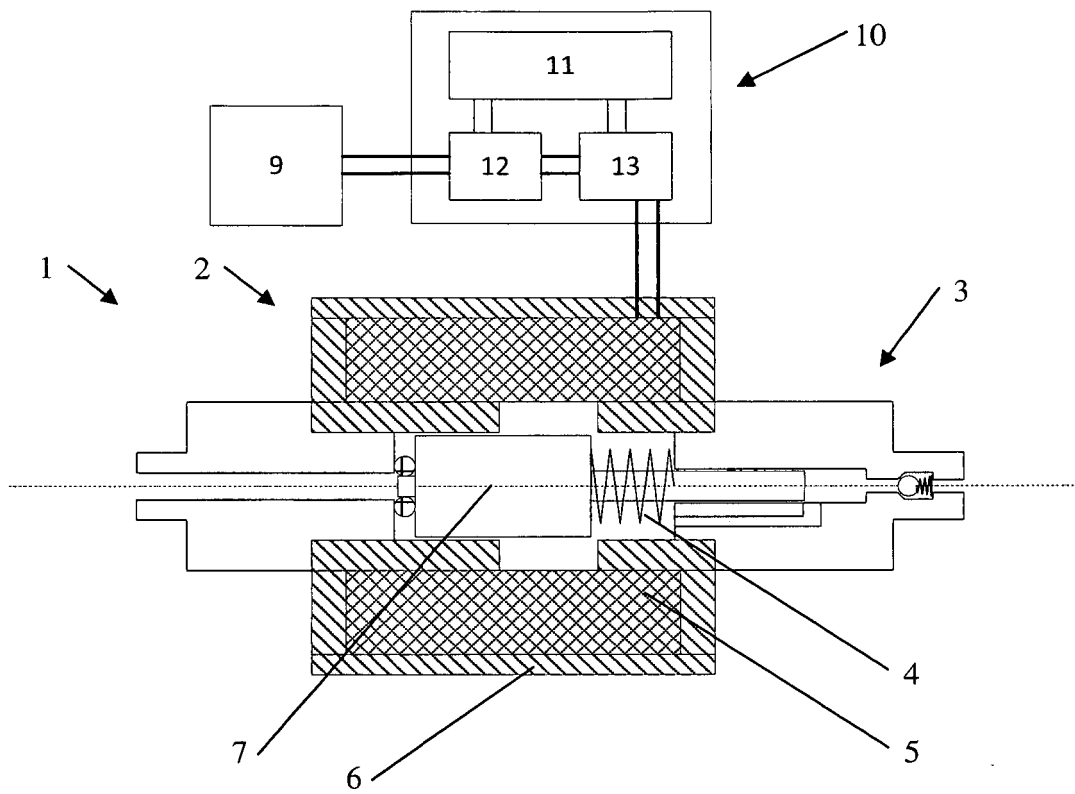
5. Procédé de commande d'une pompe à piston selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que**, lors du rappel de l'armature d'électro-aimant (7) par le ressort (4), un courant électrique qui s'atténue lentement à cause de l'inductance de bobine à travers la bobine magnétique est mesuré par le dispositif de mesure (13) et est utilisé via le calcul du flux magnétique concaténé pour déterminer la position de l'armature d'électro-aimant, dans lequel est utilisée une table calculée au préalable et sélectionnée qui correspond à une tension agissante réduite et à une modification de tension négative, avec des valeurs attribuées du courant électrique, du flux magnétique concaténé et de la position de l'armature d'électro-aimant (7).

6. Procédé de commande d'une pompe à piston selon la revendication 5, **caractérisé en ce que**, lors du rappel de l'armature d'électro-aimant (7) par le ressort (4), l'information sur la position de l'armature d'électro-aimant dans la commande (10) électrique est utilisée pour, en fonction de la position de l'ar-

mature d'électro-aimant, augmenter la tension agissante contre la bobine magnétique (5) et ainsi freiner le mouvement de l'armature d'électro-aimant.

7. Dispositif destiné à exécuter le procédé selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel le dispositif est constitué d'une pompe à piston (1) et d'une commande (10) électrique et dans lequel la pompe à piston est constituée d'un électro-aimant (2) et d'une unité volumétrique (3) sollicitée par un ressort (4), dans lequel l'électro-aimant est composé d'une bobine magnétique (5), d'une culasse en fer (6) et d'une armature d'électro-aimant (7), et dans lequel la commande (10) électrique présente un processeur (11) à mémoire programmable, un dispositif de commutation (12) et un dispositif de mesure (13),
- caractérisé en ce que**
- le processeur (11) à mémoire programmable contient au moins une table calculée avant le fonctionnement normal de la commande (10), avec des valeurs attribuées du courant électrique à travers la bobine magnétique (5), du flux magnétique concaténé dans l'électro-aimant (2) et de la position de l'armature d'électro-aimant (7), dans lequel cette table ou ces tables permettent au processeur, en raison d'une pluralité de mesures du courant électrique au moyen d'un dispositif de mesure (13), de déterminer la position de l'armature d'électro-aimant (7) via un procédé d'estimation.
8. Dispositif selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** la commande (10) électrique abaisse la tension électrique moyenne agissante contre la bobine magnétique (5) au moyen d'un processeur (11) à mémoire programmable et d'un dispositif de commutation (12), indépendamment du piston par rapport à la tension d'une alimentation en tension (9), de telle sorte que l'évolution de la vitesse de l'armature d'électro-aimant soit influencée d'une façon prédéfinie pour le processeur (11), dans lequel l'alimentation en tension (9) envoie une tension électrique au dispositif de commutation (12), là-dessus au dispositif de mesure (13) et là-dessus à la bobine magnétique (5).

Fig. 1



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

- DE 10033923 A1 **[0006]**
- DE 10020896 A1 **[0007]**
- DE 102011088699 A1 **[0008]**
- DE 19982757 B4 **[0008]**
- DE 102004002454 B4 **[0008]**
- DE 10127996 A1 **[0008]**