

(19)



(11)

EP 2 640 973 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
03.10.2018 Patentblatt 2018/40

(51) Int Cl.:
F04B 1/26 ^(2006.01) **F04B 49/06** ^(2006.01)
F04B 49/12 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **11782643.8**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2011/070378

(22) Anmeldetag: **17.11.2011**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2012/066090 (24.05.2012 Gazette 2012/21)

(54) VERFAHREN UND REGELVORRICHTUNG ZUR DREHZAHLVARIABLEN REGELUNG EINES VERDRÄNGERPUMPENAGGREGATES SOWIE VERDRÄNGERPUMPENANORDNUNG

METHOD AND CONTROL DEVICE FOR THE ROTATIONAL-SPEED-VARIABLE CONTROL OF AN EXPELLER PUMP UNIT AND EXPELLER PUMP ARRANGEMENT

PROCÉDÉ ET DISPOSITIF DE RÉGLAGE POUR LA RÉGULATION À VITESSE VARIABLE D'UN GROUPE POMPE VOLUMÉTRIQUE ET ENSEMBLE DE POMPE VOLUMÉTRIQUE

(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: **17.11.2010 DE 102010044053**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
25.09.2013 Patentblatt 2013/39

(73) Patentinhaber: **KSB SE & Co. KGaA**
67227 Frankenthal (DE)

(72) Erfinder:
• **PAULUS, Thomas**
66578 Schiffweiler (DE)
• **SCHAAB, Jochen**
55268 Nieder-Olm (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 2 196 678 EP-A2- 0 156 399
EP-A2- 1 437 509 EP-A2- 2 196 669
WO-A1-03/031918 WO-A1-2005/050021
DE-U1-202005 001 746 GB-A- 2 352 533
US-A1- 2003 127 289

EP 2 640 973 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 drehzahlvariablen Regelung eines Verdrängerpumpenaggregates zum Fördern eines Fluids, bestehend aus einer Verdrängerpumpe und einem Antrieb, wobei der Antrieb aus einem mit Stator und Rotor versehenen elektrischen Antriebsmotor und einem Frequenzumrichter besteht, mittels einer Regelvorrichtung, wobei eine Regelgröße der Verdrängerpumpe durch die Regelvorrichtung auf einen Sollwert geregelt wird, wobei durch die Regelvorrichtung mindestens ein vom Antrieb zur Verfügung gestellter Zustandswert des Antriebs erfasst wird und daraus durch die Regelvorrichtung die Regelgröße der Verdrängerpumpe ermittelt wird, um das Verdrängerpumpenaggregat ohne Verwendung von Sensoren auf den Sollwert zu regeln, sowie eine geeignete Regelvorrichtung zur Durchführung des Verfahrens und eine entsprechende Verdrängerpumpenanordnung.

[0002] Verdrängerpumpen werden häufig zur Förderung von Fluiden, also Flüssigkeiten oder Gasen, bei mittleren bis hohen Drücken und kleinen Fördermengen eingesetzt. Als Antrieb wird üblicherweise ein elektrischer Asynchronmotor mit vorgeschaltetem Frequenzumrichter in Kombination mit einer als Prozeßregler ausgebildeten Regelvorrichtung zum drehzahlvariablen Betrieb des Asynchronmotors eingesetzt. Durch den drehzahlvariablen Betrieb kann mit einer Messung des Enddruckes als Regelgröße der Verdrängerpumpe eine Regelung des Drucks bei sich verändernder Fördermenge erreicht werden. Die Regelvorrichtung ist üblicherweise neben der eigentlichen Regelung zusätzlich für Steuer-, Überwachungs- und/oder Diagnoseaufgaben vorgesehen. Frequenzumrichter und Regelvorrichtung sind üblicherweise separat ausgeführt. Zur Vermeidung von Überdrücken und zum schnellen Druckabbau werden in einer herkömmlichen Verdrängerpumpenanordnung druckseitig separate Überdruckventile eingesetzt. Ein Anfahren des Antriebes gegen einen geschlossenen Schieber ist ohne Stelleingriffe des Überdruckventils antriebsbedingt nicht möglich. Ein Vorhalten eines geforderten Druckes bei einer Fördermenge gleich Null, der sogenannten Nullfördermenge, ist bei einer herkömmlichen Anordnung nicht möglich. Dadurch wird die benötigte Zeit zum Einregeln des Druckes bei Öffnung des Schiebers vergrößert.

[0003] Weiterhin ist ein Verfahren zur sensorlosen Regelung von Rotorwinkellage oder Rotorposition, nachfolgend vereinfachend Lage genannt, und Drehzahl eines synchronen Reluktanzmotors bekannt. Als Zustandswerte stehen Drehzahl und Lage des synchronen Reluktanzmotors und über die momentenbildende Stromkomponente dessen Drehmoment zur Verfügung.

[0004] Die DE 20 2005 001 746 U1 offenbart eine Vorrichtung zum Steuern einer Strömungsarbeitsmaschine mit einer Prozessoreinrichtung mit einem Speicherbaustein, in dem ein mathematisches Modell hinterlegt ist.

[0005] Die EP 0 156 399 A2 offenbart ein Steuerungssystem für eine Anordnung mit mehreren Verdrängerpumpen.

[0006] Die WO 03/031918 A1 offenbart eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Überwachung von Durchflussmengen.

[0007] Die EP 2 196 678 A1 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Kavitationsdetektion einer Pumpe, die von einem Frequenzumrichter angetrieben wird.

[0008] Die GB 2 352 533 A offenbart ein Verfahren zur Regelung der Fördergröße einer Pumpe, indem als Istwert für die Fördergröße die Eingangsleistung des Motors gemessen wird.

[0009] Die US 2003/0127289 A1 offenbart ein Verfahren zur sensorlosen Antriebsregelung eines Elektrofahrzeugs.

[0010] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur drehzahlvariablen Regelung eines Verdrängerpumpenaggregates zu schaffen, das die Dynamik der Regelung erhöht und weniger Einzelkomponenten der Anordnung erfordert, und eine geeignete Regelvorrichtung zur Durchführung des Verfahrens sowie eine entsprechende Verdrängerpumpenanordnung bereitzustellen.

[0011] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit einem Verfahren gelöst, bei dem als Zustandswerte des Antriebs Drehmoment und Lage des Antriebsmotors erfasst werden. Als Regelgrößen der Verdrängerpumpe sind insbesondere der Enddruck und das geförderte Fluidvolumen vorgesehen. Erfindungsgemäß werden als Zustandswerte des Antriebs Drehmoment und Lage des Antriebsmotors erfasst. Durch das erfindungsgemäße Verfahren ist eine Regelung auf einen Sollwert geschaffen, die gänzlich ohne eine sensorische Erfassung der Regelgröße auskommt und rein auf der vom Antrieb gelieferten Zustandswerte basiert.

[0012] Die Regelvorrichtung ist darüber hinaus für Steuer-, Überwachungs und/oder Diagnoseaufgaben vorgesehen. In dieser Anmeldung wird ohne Beschränkung der Gesamtfunktionalität der Vorrichtung vereinfachend der Begriff Regelvorrichtung verwendet. Frequenzumrichter und Regelvorrichtung können erfindungsgemäß auch integriert ausgeführt sein.

[0013] Eine Ausgestaltung des Verfahrens sieht vor, dass durch die Regelvorrichtung der Enddruck als Regelgröße der Verdrängerpumpe ermittelt wird, um das Verdrängerpumpenaggregat ohne Verwendung von Sensoren auf den Enddrucksollwert zu regeln. Dadurch ist eine Regelung auf einen Enddrucksollwert geschaffen, die ohne eine sensorische Erfassung des Enddruckes auskommt.

[0014] Nach einer Ausgestaltung der Erfindung ist es vorgesehen, dass der Enddruck der Verdrängerpumpe mittels einer in der Regelvorrichtung gespeicherten Motormoment-Enddruck-Abhängigkeit des Verdrängerpumpenaggregates geregelt wird. Die Regelvorrichtung und/oder der mit der Regelvorrichtung integrierte Antrieb ist durch ein solches Druckmodell auf die jeweilige Verdrängerpumpe parametrisiert oder angepasst. Über die Regelung des Motor-

momentes wird der Enddruck der Pumpe geregelt. Die in der Regelvorrichtung gespeicherte Motormoment-Enddruck-Abhängigkeit ist in Form einer Kennlinie, einer Wertetabelle, oder dergleichen vorgesehen. Auch ein formelmäßiger Zusammenhang ist vorgesehen und in einer in der Regelvorrichtung vorgesehenen Speichervorrichtung hinterlegbar. Als zweckmäßig und in erster Näherung ausreichend hat sich ein einfacher linearer Zusammenhang zwischen Motor-

$$p_{\text{ist}} = k_1 \cdot M_{\text{ist}} \quad (\text{Gleichung 1}).$$

[0015] Für eine präzise Bestimmung des Enddruckes hat es sich bewährt, dass durch die Regelvorrichtung zusätzlich die Drehzahl des Motors erfasst werden kann. Durch ein solches dynamisches Druckmodell kann für den Anfahrvorgang die Druckbestimmung unter Berücksichtigung des dynamischen Momentenanteils, gebildet aus dem Produkt der Motor-trägheitskonstanten Θ und der Ableitung der Drehzahl ω_{ist} , gemäß folgender Gleichung erfolgen:

$$p_{\text{ist}} = k_1 \cdot (M_{\text{ist}} - \Theta \cdot \omega_{\text{ist}}') \quad (\text{Gleichung 2}).$$

[0016] Es hat sich weiterhin als zweckmäßig erwiesen, durch die Regelvorrichtung Zustandswerte, insbesondere Lage, Drehzahl und Drehmoment, eines sensorlosen Synchronreluktanzmotors mit Flusssperrenschnitt zu erfassen. Ein mit Flusssperrern oder Flussbarrieren genannten Aussparungen im Rotorblechschnitt versehener Rotor eines Synchronreluktanzmotors kann sensorlos hinsichtlich seiner Rotorwinkellage, nachfolgend auch Lage genannt, und seiner Drehzahl geregelt werden. Neben den Zustandswerten Drehzahl und Lage des synchronen Reluktanzmotors steht weiterhin mit der momentenbildenden Stromkomponente das Drehmoment des Motors zur Verfügung. Das Nennmoment des sensorlosen Synchronreluktanzmotors ist bereits bei stillstehendem Motor verfügbar, so dass auch bei einer Fördermenge von Null der Druck auf dem geforderten Niveau gehalten werden kann. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht in Verbindung mit dem sensorlosen Synchronreluktanzmotor ein Anlaufen einer Verdrängerpumpe gegen einen geschlossenen Schieber. Der gewünschte Enddruck steht dabei sofort zur Verfügung.

[0017] Besonders vorteilhaft ist es dabei, dass ein solcher Synchronreluktanzmotor ohne Drehzahl- und ohne Lage-sensoren geregelt wird. Somit besteht mit dem erfindungsgemäßen Verfahren eine Regelung auf einen Enddrucksollwert, die ohne eine sensorische Erfassung des Enddruckes und ohne Positions- und Drehzahlsensoren auskommt.

[0018] Zusätzliche Vorteile bringt eine Ausgestaltung des Verfahrens, wonach von der Regelvorrichtung die Lage des Antriebsmotors, also die Winkellage des Antriebsrotors zum Antriebsstator, erfasst wird, und mit dem Wert des abgeschlossen Verdrängerpumpenvolumens, dem Hubvolumen, das geförderte Fluidvolumen ermittelt wird. Dabei ergibt sich das geförderte Fluidvolumen aus der zurückgelegten Winkelstrecke des Antriebsrotors und dem Hubvolumen der Verdrängerpumpe. Somit lassen sich mit dem Verfahren definierte Fluidvolumen fördern. Enddruck und gefördertes Fluidvolumen des Verdrängerpumpenaggregates sind somit gleichzeitig ermittelbar.

[0019] Weiterhin kann durch die Kombination von Enddruckregelung und Ermittlung des geförderten Fluidvolumens eine nicht vollständige Füllung der Verdrängerpumpe mit dem zu fördernden Fluid erkannt werden. Durch die Erkennung einer gegebenenfalls vorhandenen nicht vollständigen Füllung kann eine richtige Berechnung der geförderten Menge erfolgen.

[0020] Dabei ist es vorgesehen, dass ein vorgegebenes Fluidvolumen gefördert wird, indem durch die Regelvorrichtung das ermittelte Ist-Fluidvolumen mit dem vorgegebenen Fluidvolumen verglichen wird und bei Erreichen des vorgegebenen Fluidvolumens ein Förderbetrieb des Verdrängerpumpenaggregates gestoppt wird. Dazu wird beispielsweise beginnend mit einem Startzeitpunkt das Fördervolumen pro Kolbenhub der Verdrängerpumpe aufsummiert. Bei Erreichen des vorgegebenen Fluidvolumens wird der Förderbetrieb des Verdrängerpumpenaggregates gestoppt. Dazu kann durch die Regelvorrichtung ein druckseitig angeordnetes Ventil angesteuert werden und dieses geschlossen werden.

[0021] Bei einer erfindungsgemäßen Regelvorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, wobei eine Regelgröße einer Verdrängerpumpe durch die Regelvorrichtung auf einen Sollwert geregelt wird, ist vorgesehen, dass die Regelvorrichtung Mittel zur Erfassung mindestens eines vom Antrieb zur Verfügung gestellten Zustandswertes und eine Speichervorrichtung aufweist, dass die Regelvorrichtung die Regelgröße aus dem Zustandswert ermittelt, um das Verdrängerpumpenaggregat ohne Verwendung von Sensoren und auf Basis der vom Antrieb gelieferten Zustandswerte auf den vorgegebenen Sollwert zu regeln. Dazu werden erfindungsgemäß als Zustandswerte des Antriebs Drehmoment und Lage des Antriebsmotors erfasst. Insbesondere ist es vorgesehen, dass der Enddruck der Verdrängerpumpe als Regelgröße verwendet wird. Dies ermöglicht die Regelung des Enddruckes auf den Enddrucksollwert ohne Drucksensoren. Aus der Lageinformation des Antriebsmotors kann auf die Regelgröße gefördertes Fluidvolumen geregelt

werden.

[0022] Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung ist es vorgesehen, dass in der Speichervorrichtung der Regelvorrichtung eine Motormoment-Enddruck-Abhängigkeit des Verdrängerpumpenaggregates gespeichert ist und die Regelvorrichtung den Enddruck der Verdrängerpumpe mittels der Motormoment-Enddruck-Abhängigkeit des Verdrängerpumpenaggregates regelt. Die Speichervorrichtung dient der Speicherung der für die jeweilige Verdrängerpumpe charakteristischen Parameter oder Kenngrößen. Dies erfolgt in Form einer Kennlinie, einer Wertetabelle, durch einen formelmäßigen Zusammenhang oder dergleichen. Zweckmäßigerweise ist in der Speichervorrichtung ein linearer Zusammenhang zwischen Motormoment und Enddruck gemäß obiger Gleichung 1 gespeichert.

[0023] Weiterhin ist die erfindungsgemäße Regelvorrichtung in der Lage, aus der Lageinformation des Antriebsmotors, genauer der Winkellage des Antriebsrotors, und dem Wert des abgeschlossenen Verdrängerpumpenvolumens, dem Hubvolumen, das geförderte Fluidvolumen zu ermitteln und/oder eine vorgegebene Fluidfördermenge zu regeln.

[0024] Eine erfindungsgemäße Verdrängerpumpenanordnung mit einem Verdrängerpumpenaggregat zum Fördern eines Fluids, wobei das Verdrängerpumpenaggregat aus einer Verdrängerpumpe und einem drehzahlvariablen Antrieb besteht, wobei der Antrieb aus einem elektrischen Antriebsmotor und einem Frequenzumrichter besteht, wobei eine Regelgröße, insbesondere Enddruck und/oder gefördertes Fluidvolumen, der Verdrängerpumpe geregelt wird, und gegebenenfalls mit einem druckseitig angeordneten Ventil, insbesondere Absperrventil, ist gekennzeichnet durch eine erfindungsgemäße Regelvorrichtung. Gegebenenfalls wird das Ventil, insbesondere das Absperrventil, durch die Regelvorrichtung gesteuert und/oder geregelt.

[0025] Vorteilhafterweise ist der Antriebsmotor des Verdrängerpumpenaggregates ein sensorlos betriebener Synchronreluktanzmotor mit Flusssperren. Ein mit Flusssperren versehener Synchronreluktanzmotor kann sensorlos hinsichtlich seiner Rotorwinkellage, und seiner Drehzahl geregelt werden. Als Zustandswerte stehen der Regelvorrichtung Drehzahl, Lage und Drehmoment des synchronen Reluktanzmotors zur Verfügung. Das Nennmoment des sensorlosen Synchronreluktanzmotors ist bereits bei stillstehendem Motor verfügbar, so dass auch bei einer Fördermenge von Null der Druck auf dem geforderten Niveau gehalten werden kann. Mit dem sensorlosen Synchronreluktanzmotor ist ein Anlaufen des Verdrängerpumpenaggregates auch gegen einen geschlossenen Schieber möglich. Der gewünschte Enddruck steht dabei sofort zur Verfügung.

[0026] Dabei hat es sich als zweckmäßig erwiesen, dass der Antrieb Mittel zum sensorlosen Bestimmen der Lage und der Drehzahl des Antriebsmotors aufweist. Der Antrieb besitzt dazu Mittel zum Messen von elektrischen Spannungen und/oder von elektrischen Strömen des Antriebsmotors.

[0027] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden im Folgenden näher beschrieben. Es zeigen die

Fig. 1 eine Verdrängerpumpenanordnung gemäß dem Stand der Technik, die

Fig. 2 eine erfindungsgemäße Verdrängerpumpenanordnung, die

Fig. 3 eine regelungstechnische Darstellung einer erfindungsgemäßen Druckregelung, die

Fig. 4a eine regelungstechnische Darstellung eines erfindungsgemäßen Verfahrensablaufs hinsichtlich Initialisierung Fluidvolumenbestimmung und Ventilöffnung, und die

Fig. 4b eine regelungstechnische Darstellung eines erfindungsgemäßen Verfahrensablaufs hinsichtlich Fluidvolumenbestimmung und Ventilschließung.

[0028] Die Figur 1 zeigt eine Verdrängerpumpenanordnung 1' gemäß dem Stand der Technik in schematischer Darstellung. Eine Verdrängerpumpe 2 ist auf ihrer Druckseite 3 und auf ihrer Saugseite 4 an ein Rohrleitungssystem einer nicht näher dargestellten Anlage angeschlossen und wird mittels einer Welle 5 von einem aus Rotor und Stator bestehenden Elektromotor 6', hier einem herkömmlichen Asynchronmotor, angetrieben. Der Elektromotor 6' ist drehzahlvariabel betreibbar und wird über einen Frequenzumrichter 7' mehrphasig, hier dreiphasig, mit einem mehrphasigen, hier dreiphasigen, elektrischen Wechselspannungsnetz 9 versorgt. Mittels eines vorgegebenen Frequenzsollwertes f_{soll} betreibt der Frequenzumrichter 7' den Elektromotor 6' bei einer bestimmten, aber veränderlichen Drehzahl. Elektromotor 6' und Frequenzumrichter 7' bilden dabei den Antrieb für die Verdrängerpumpe 2. Auf der Druckseite 3 der Verdrängerpumpe 2 wird mittels eines Drucksensors 10, ein Signal gemäß dem Enddruck p der Anordnung 1' erfasst und an eine Regelvorrichtung 11' weitergeleitet. Die Regelvorrichtung 11' dient der Regelung des Enddruckes p der Verdrängerpumpe 2 auf einen vorgegebenen Enddrucksollwert p_{soll} mittels eines Frequenzsollwertes f_{soll} . Zur Vermeidung von

[0029] Überdrücken und zum schnellen Druckabbau werden bei einer solchen Verdrängerpumpenanordnung 1' druckseitig separate, hier nicht dargestellte, Überdruckventile notwendig. Ein Vorhalten eines geforderten Druckes bei einer Fördermenge gleich Null, der sogenannten Nullfördermenge, ist bei dieser Anordnung nicht möglich. Die Zeit zum

Einregeln des Druckes bei Öffnung eines druckseitig angeordneten, hier nicht dargestellten, Schiebers ist vergrößert.

[0030] Die Figur 2 zeigt in schematischer Darstellung eine erfindungsgemäße Verdrängerpumpenanordnung 1 mit einem Verdrängerpumpenaggregat zum Fördern eines Fluids, das aus einer Verdrängerpumpe 2 und einem drehzahlvariablen Antrieb besteht. Der Antrieb ist gebildet durch einen mit Stator und Rotor versehenen elektrischen Antriebsmotor 6 und einen Frequenzumrichter 7. Der Elektromotor 6 ist über den Frequenzumrichter 7 mehrphasig, hier dreiphasig, mit einem mehrphasigen, hier dreiphasigen, elektrischen Wechselspannungsnetz 9 verbunden. Eine Regelvorrichtung 11 regelt die Verdrängerpumpe 2 auf einen vorgegebenen Enddrucksollwert. Auf der Druckseite 3 der Verdrängerpumpe 2 ist ein als Absperrventil gestaltetes Ventil 13 zum Verschließen der druckseitigen Rohrleitung angeordnet. Die Regelvorrichtung 11 weist Mittel zur Erfassung der Motor-Zustandswerte Winkellage φ_{ist} , Drehzahl ω_{ist} und Drehmoment M_{ist} des Antriebsmotors 6 auf. Die Regelvorrichtung 11 besitzt eine Speichervorrichtung zur Speicherung von Parametern, Abhängigkeiten und/oder Kennlinien. Die Regelvorrichtung 11 ermittelt den Enddruck p_{ist} aus dem Drehmoment M_{ist} , um das Verdrängerpumpenaggregat ohne Verwendung von Sensoren auf den vorgegebenen Enddruck p_{soll} zu regeln. Die Regelvorrichtung 11 besitzt dazu den in der Figur 3 gezeigten und näher erläuterten Druckregler 15, der einen erforderlichen Frequenzsollwert f_{soll} generiert. Im Gegensatz zum Stand der Technik wird dafür erfindungsgemäß weder ein Sensorsignal eines Druckes der Verdrängerpumpe noch eines anderen Sensors benötigt. Erfindungsgemäß nutzt die Regelvorrichtung vielmehr eine in der Speichervorrichtung der Regelvorrichtung 11 hinterlegte Motormoment-Enddruck-Abhängigkeit des Verdrängerpumpenaggregates, um den Enddruck p_{ist} der Verdrängerpumpe mittels der Motormoment-Enddruck-Abhängigkeit des Verdrängerpumpenaggregates zu regeln. Darüber hinaus ist die Regelvorrichtung 11 in der Lage, aus der Lageinformation φ_{ist} des Antriebsmotors 6 und einem Wert des abgeschlossenen Verdrängerpumpenvolumens, dem Hubvolumen, das geförderte Fluidvolumen zu ermitteln und/oder eine vorgegebene Fluidfördermenge zu regeln. Über das Stellsignal r kann die Regelvorrichtung 11 das Absperrventil 13 ansteuern und dieses öffnen oder schließen. Zusätzlich kann mit Hilfe der Drehzahlinformation ω_{ist} die Genauigkeit der Druckermittlung verbessert werden, indem der dynamische Momentenanteil im Anfahrzustand berücksichtigt wird.

[0031] Die Figur 3 zeigt in einer regelungstechnischen Darstellung die Wirkungsweise des erfindungsgemäßen Druckreglers 15. Der Istwert des Verdrängerpumpenenddruckes p_{ist} ergibt sich gemäß einer in der Speichervorrichtung der Regelvorrichtung 11 hinterlegten Motormoment-Enddruck-Abhängigkeit 17 aus M_{ist} . In diesem Ausführungsbeispiel ist diese Abhängigkeit durch ein lineares Modell angenähert und mit der Konstanten k_1 durch folgende Formel gegeben:

$$p_{\text{ist}} = k_1 \cdot M_{\text{ist}} \quad (\text{Gleichung 1}).$$

[0032] Erfindungsgemäß sind weitere Modelle 17 vorgesehen, beispielsweise ein Druckmodell, das das dynamische Anfahrverhalten gemäß obiger Gleichung 2 abbildet. Eine Regeldifferenz e zwischen Sollwert p_{soll} und berechneter Regelgröße p_{ist} wird einem Regler 16, hier einem Proportional-Integral-Regler (PI-Regler), zugeführt, der daraus den erforderlichen Frequenzsollwert f_{soll} berechnet.

[0033] Die Figur 4a zeigt in einer regelungstechnischen Darstellung einen erfindungsgemäßen Verfahrensablauf zur Bestimmung eines geförderten Fluidvolumens in Bezug auf Initialisierung und Ventilöffnung. Die Figur 4b zeigt entsprechend den Verfahrensablauf in Bezug auf die eigentliche Volumenbestimmung und eine abschließende Ventilschließung. Bei gegebener Startbedingung ("start=1") und im Falle einer unter einer Schwelle s liegenden Regeldifferenz e wird mittels eines Stellsignals r ein auf der Druckseite 3 der Verdrängerpumpe 2 angeordnetes Ventil 13 für den Beginn einer Förderung mit definiertem Fluidfördervolumen V_{soll} geöffnet und offen gehalten. Die Bedingung, wonach die Regeldifferenz e unter einer bestimmten Schwelle sein soll, stellt dabei sicher, dass vor der Förderung ein gewünschtes Druckniveau aufgebaut ist. Außerdem erfolgt durch die Berücksichtigung dieser Startbedingung die Ermittlung der Volumenbestimmung unter der Voraussetzung, dass die Verdrängerpumpe vollständig gefüllt ist. Zwecks Initialisierung der Mengenbestimmung wird die Anfangswinkellage $\varphi_{\text{ist},0}$ auf den Istwert der Motorwinkellage (p_{ist} gesetzt. Das geförderte Volumen V_{ist} ergibt sich mit k_2 als Faktor gemäß Fig. 4b entsprechend dem abgeschlossenen Fördervolumen der Verdrängerpumpe (Hubvolumen) zu:

$$V_{\text{ist},k} = k_2 \cdot \vartheta_k$$

$$(\text{Gleichung 3})$$

[0034] Die Volumenbestimmung erfolgt dabei zyklisch in aufeinanderfolgenden, mit Index k gekennzeichneten, Iterationsschritten, wobei ϑ_k den Wert für die gesamte überstrichene Winkelstrecke des Rotors darstellt. Im Falle einer erreichten, vorgegebenen Fluidfördermenge V_{soll} (" $V_{\text{ist},k} > V_{\text{soll}}$ ") wird der Förderbetrieb gestoppt ("start:= 0") und das

Absperrventil 13 geschlossen ("r:=0"). Durch ein solches Verfahren ermittelt die erfindungsgemäße Regelvorrichtung aus der Lageinformation φ_{ist} des Antriebsmotors und dem Wert des abgeschlossenen Verdrängerpumpenvolumens das geförderte Fluidvolumen und kann auf eine vorgegebene Fluidfördermenge V_{soll} bei vorgegebenem Druck regeln.

5

Patentansprüche

1. Verfahren zur drehzahlvariablen Regelung eines Verdrängerpumpenaggregates zum Fördern eines Fluids, mittels einer Regelvorrichtung, das Verdrängerpumpenaggregat bestehend aus einer Verdrängerpumpe und einem Antrieb, wobei der Antrieb aus einem mit Stator und Rotor versehenen elektrischen Antriebsmotor und einem Frequenzumrichter besteht, wobei eine Regelgröße der Verdrängerpumpe durch die Regelvorrichtung auf einen Sollwert geregelt wird, wobei durch die Regelvorrichtung (11) mindestens ein vom Antrieb zur Verfügung gestellter Zustandswert des Antriebs erfasst wird und daraus durch die Regelvorrichtung (11) die Regelgröße der Verdrängerpumpe (2) ermittelt wird, um das Verdrängerpumpenaggregat ohne Verwendung von Sensoren auf den Sollwert zu regeln, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Zustandswerte des Antriebs Drehmoment und Lage des Antriebsmotors (6) erfasst werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch die Regelvorrichtung (11) der Enddruck als Regelgröße der Verdrängerpumpe (2) ermittelt wird, um das Verdrängerpumpenaggregat ohne Verwendung von Sensoren auf den Enddrucksollwert zu regeln.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Enddruck der Verdrängerpumpe (2) mittels einer in der Regelvorrichtung (11) gespeicherten, Motormoment-Enddruck-Abhängigkeit des Verdrängerpumpenaggregates geregelt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Enddruck unter Berücksichtigung eines dynamischen Momentenanteils ermittelt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch die Regelvorrichtung (11) Zustandswerte, insbesondere Lage, Drehzahl und Drehmoment, eines sensorlosen Synchronreluktanzmotors mit Flusssperren erfasst werden.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Synchronreluktanzmotor ohne Drehzahl- und ohne Lagesensoren geregelt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** von der Regelvorrichtung (11) die Lage des Antriebsmotors (6) erfasst wird, und mit dem Wert des abgeschlossenen Verdrängerpumpenvolumens das geförderte Fluidvolumen ermittelt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein vorgegebenes Fluidvolumen gefördert wird, indem durch die Regelvorrichtung (11) das ermittelte Fluidvolumen mit dem vorgegebenen Fluidvolumen verglichen wird und bei Erreichen des vorgegebenen Fluidvolumens ein Förderbetrieb des Verdrängerpumpenaggregates gestoppt wird.
9. Regelvorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei eine Regelgröße einer Verdrängerpumpe durch die Regelvorrichtung auf einen Sollwert geregelt wird, wobei die Regelvorrichtung (11) Mittel zur Erfassung mindestens eines vom Antrieb zur Verfügung gestellten Zustandswertes des Antriebs und eine Speichervorrichtung aufweist, dass die Regelvorrichtung (11) die Regelgröße aus dem Zustandswert ermittelt, um das Verdrängerpumpenaggregat ohne Verwendung von Sensoren auf den vorgegebenen Sollwert zu regeln, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regelvorrichtung (11) Mittel zur Erfassung der vom Antrieb zur Verfügung gestellten Zustandswerte Drehmoment und Lage des Antriebsmotors (6) aufweist.
10. Regelvorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Enddruck der Verdrängerpumpe (2) als Regelgröße verwendet wird.
11. Regelvorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Speichervorrichtung der Regelvorrichtung (11) eine Motormoment-Enddruck-Abhängigkeit des Verdrängerpumpenaggregates gespeichert ist und die Regelvorrichtung (11) den Enddruck der Verdrängerpumpe (2) mittels der Motormoment-Enddruck-Abhängigkeit

des Verdrängerpumpenaggregates regelt.

12. Regelvorrichtung nach Anspruch 9, 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regelvorrichtung (11) aus der Lageinformation des Antriebsmotors (6) und dem Wert des abgeschlossenen Verdrängerpumpenvolumens das geförderte Fluidvolumen ermittelt und/oder eine vorgegebene Fluidfördermenge regelt.
13. Verdrängerpumpenanordnung mit einem Verdrängerpumpenaggregat zum Fördern eines Fluids, wobei das Verdrängerpumpenaggregat aus einer Verdrängerpumpe und einem drehzahlvariablen Antrieb besteht, wobei der Antrieb aus einem mit Stator und Rotor versehenen elektrischen Antriebsmotor und einem Frequenzumrichter besteht, wobei eine Regelgröße der Verdrängerpumpe geregelt wird, und gegebenenfalls mit einem druckseitig angeordneten Ventil, **gekennzeichnet durch** eine Regelvorrichtung (11) nach einem der Ansprüche 9 bis 12.
14. Verdrängerpumpenanordnung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Antriebsmotor (6) des Verdrängerpumpenaggregates ein sensorlos betriebener Synchronreluktanzmotor mit Flusssperren ist.
15. Verdrängerpumpenanordnung nach Anspruch 14 **dadurch gekennzeichnet, dass** der Antrieb Mittel zum sensorlosen Bestimmen der Lage und der Drehzahl des Antriebsmotors (6) aufweist.

Claims

1. Method for the variable rotational speed control of a displacement pump unit for delivering a fluid, by means of a control device, the displacement pump unit comprising a displacement pump and a drive, the drive comprising an electric drive motor provided with stator and rotor and a frequency converter, a controlled variable of the displacement pump being controlled to a set point by the control device, wherein, by means of the control device (11), at least one drive-provided state value of the drive is registered and, from this, the controlled variable of the displacement pump (2) is determined by the control device (11), in order to control the displacement pump unit to the set point without the use of sensors, **characterized in that** torque and position of the drive motor (6) are registered as state values of the drive.
2. Method according to Claim 1, **characterized in that** the final pressure is determined by the control device (11) as controlled variable of the displacement pump (2), in order to control the displacement pump unit to the final pressure set point without using sensors.
3. Method according to Claim 1 or 2, **characterized in that** the final pressure of the displacement pump (2) is controlled by means of a motor torque-final pressure dependency of the displacement pump unit that is stored in the control device (11).
4. Method according to Claim 3, **characterized in that** the final pressure is determined by taking a dynamic torque component into account.
5. Method according to one of Claims 1 to 4, **characterized in that** state values, in particular position, rotational speed and torque, of a sensorless synchronous reluctance motor having flux barriers are registered by the control device (11).
6. Method according to Claim 5, **characterized in that** the synchronous reluctance motor is controlled without rotational speed sensors and without position sensors.
7. Method according to one of Claims 1 to 6, **characterized in that** the position of the drive motor (6) is registered by the control device (11), and the delivered fluid volume is determined with the value of the sealed displacement pump volume.
8. Method according to Claim 7, **characterized in that** a predefined fluid volume is delivered by the fluid volume determined being compared by the control device (11) with the predefined fluid volume and, when the predefined fluid volume is reached, delivery operation of the displacement pump unit being stopped.
9. Control device for implementing the method according to one of Claims 1 to 8, a controlled variable of a displacement

pump being controlled to a set point by the control device, wherein the control device (11) has means for registering at least one drive-provided state value of the drive and a memory device, in that the control device (11) determines the controlled variable from the state value, in order to control the displacement pump unit to the predefined set point without using sensors, **characterized in that** the control device (11) has means for registering the drive-provided state values torque and position of the drive motor (6).

10. Control device according to Claim 9, **characterized in that** the final pressure of the displacement pump (2) is used as controlled variable.

11. Control device according to Claim 10, **characterized in that** a motor torque-final pressure dependency of the displacement pump unit is stored in the memory device of the control device (11), and the control device (11) controls the final pressure of the displacement pump (2) by means of the motor torque-final pressure dependency of the displacement pump unit.

12. Control device according to Claim 9, 10, or 11, **characterized in that** the control device (11) determines the fluid volume delivered from the position information of the drive motor (6) and the value of the sealed displacement pump volume and/or controls a predefined fluid delivery rate.

13. Displacement pump arrangement having a displacement pump unit for delivering a fluid, the displacement pump unit comprising a displacement pump and a variable rotational speed drive, the drive comprising an electric drive motor provided with stator and rotor and a frequency converter, a controlled variable of the displacement pump being controlled, and possibly having a valve arranged on the pressure side, **characterized by** a control device (11) according to one of Claims 9 to 12.

14. Displacement pump arrangement according to Claim 13, **characterized in that** the drive motor (6) of the displacement pump unit is a synchronous reluctance motor having flux barriers and operated without sensors.

15. Displacement pump arrangement according to Claim 14, **characterized in that** the drive has means for determining the position and the rotational speed of the drive motor (6) without sensors.

Revendications

1. Procédé de régulation par variation de la vitesse de rotation d'un groupe de pompage volumétrique destiné à refouler un fluide, au moyen d'un dispositif de régulation, le groupe de pompage volumétrique étant constitué d'une pompe volumétrique et d'un mécanisme d'entraînement, le mécanisme d'entraînement se composant d'un moteur d'entraînement électrique pourvu d'un stator et d'un rotor et d'un convertisseur de fréquence, une grandeur de régulation de la pompe volumétrique étant régulée par le dispositif de régulation à une valeur de consigne, au moins une valeur d'état du mécanisme d'entraînement, mise à disposition par le mécanisme d'entraînement, étant collectée par le dispositif de régulation (11) et la grandeur de régulation de la pompe volumétrique (2) étant déterminée à partir de celle-ci par le dispositif de régulation (11), en vue de réguler le groupe de pompage volumétrique à la valeur de consigne sans utiliser de capteurs,

caractérisé en ce que

les valeurs d'état du mécanisme d'entraînement collectées sont le couple et la position du moteur d'entraînement (6) .

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la pression finale est déterminée par le dispositif de régulation (11) en tant que grandeur de régulation de la pompe volumétrique (2), en vue de réguler le groupe de pompage volumétrique à la valeur de consigne de pression finale sans utiliser de capteurs.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** la pression finale de la pompe volumétrique (2) est régulée au moyen d'une dépendance entre le couple du moteur et la pression finale du groupe de pompage volumétrique, enregistrée dans le dispositif de régulation (11).

4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** la pression finale est déterminée en tenant compte d'une part de couple dynamique.

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** des valeurs d'état, notamment la position, la vitesse de rotation et le couple d'un moteur à réluctance synchrone avec blocage du flux sont collectées par le

dispositif de régulation (11).

6. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** le moteur à réluctance synchrone est régulé sans capteurs de vitesse de rotation et sans capteurs de position.

7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** la position du moteur d'entraînement (6) est collectée par le dispositif de régulation (11) et le volume de fluide refoulé est déterminé avec la valeur du volume fermé de la pompe volumétrique.

8. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce qu'un** volume de fluide prédéfini est refoulé **en ce que** le volume de fluide déterminé est comparé par le dispositif de régulation (11) avec le volume de fluide prédéfini, et un régime de refoulement du groupe de pompage volumétrique est arrêté lorsque le volume de fluide prédéfini est atteint.

9. Dispositif de régulation destiné à mettre en oeuvre le procédé selon l'une des revendications 1 à 8, une grandeur de régulation d'une pompe volumétrique étant régulée par le dispositif de régulation à une valeur de consigne, le dispositif de régulation (11) possédant des moyens pour collecter au moins une valeur d'état du mécanisme d'entraînement, mise à disposition par le mécanisme d'entraînement, et un dispositif à mémoire, en ce que le dispositif de régulation (11) détermine la grandeur de régulation à partir de la valeur d'état en vue de réguler le groupe de pompage volumétrique à la valeur de consigne prédéfinie sans utiliser de capteurs, **caractérisé en ce que** le dispositif de régulation (11) possède des moyens pour collecter les valeurs d'état mises à disposition par le mécanisme d'entraînement qui sont le couple et la position du moteur d'entraînement (6).

10. Dispositif de régulation selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** la pression finale de la pompe volumétrique (2) est utilisée en tant que grandeur de régulation.

11. Dispositif de régulation selon la revendication 10, **caractérisé en ce qu'une** dépendance entre le couple du moteur et la pression finale du groupe de pompage volumétrique est enregistrée dans le dispositif à mémoire du dispositif de régulation (11) et le dispositif de régulation (11) régule la pression finale de la pompe volumétrique (2) au moyen de la dépendance entre le couple du moteur et la pression finale du groupe de pompage volumétrique.

12. Dispositif de régulation selon la revendication 9, 10 ou 11, **caractérisé en ce que** le dispositif de régulation (11) détermine le volume de fluide refoulé et/ou régule un débit volumique de fluide prédéfini à partir de l'information de position du moteur d'entraînement (6) et de la valeur du volume fermé de la pompe volumétrique.

13. Arrangement de pompe volumétrique comprenant un groupe de pompage volumétrique destiné à refouler un fluide, le groupe de pompage volumétrique étant constitué d'une pompe volumétrique et d'un mécanisme d'entraînement à vitesse de rotation variable, le mécanisme d'entraînement se composant d'un moteur d'entraînement électrique pourvu d'un stator et d'un rotor et d'un convertisseur de fréquence, une grandeur de régulation de la pompe volumétrique étant régulée, et comprenant éventuellement une vanne disposée du côté pression, **caractérisé par** un dispositif de régulation (11) selon l'une des revendications 9 à 12.

14. Arrangement de pompe volumétrique selon la revendication 13, **caractérisé en ce que** le moteur d'entraînement (6) du groupe de pompage volumétrique est un moteur à réluctance synchrone avec blocage du flux fonctionnant sans capteur.

15. Arrangement de pompe volumétrique selon la revendication 14, **caractérisé en ce que** le mécanisme d'entraînement possède des moyens servant à la détermination sans capteur de la position et de la vitesse de rotation du moteur d'entraînement (6).

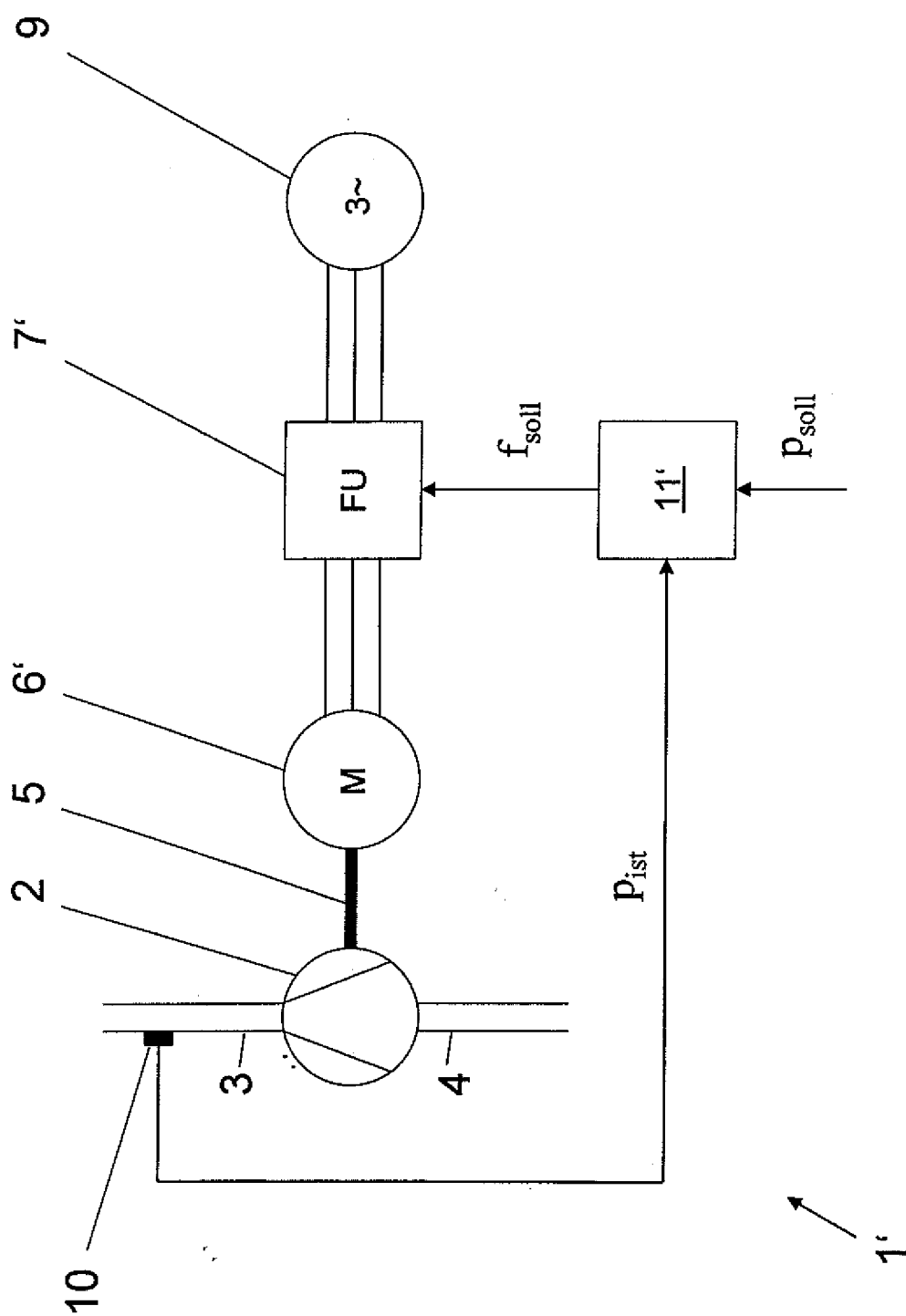


Fig. 1

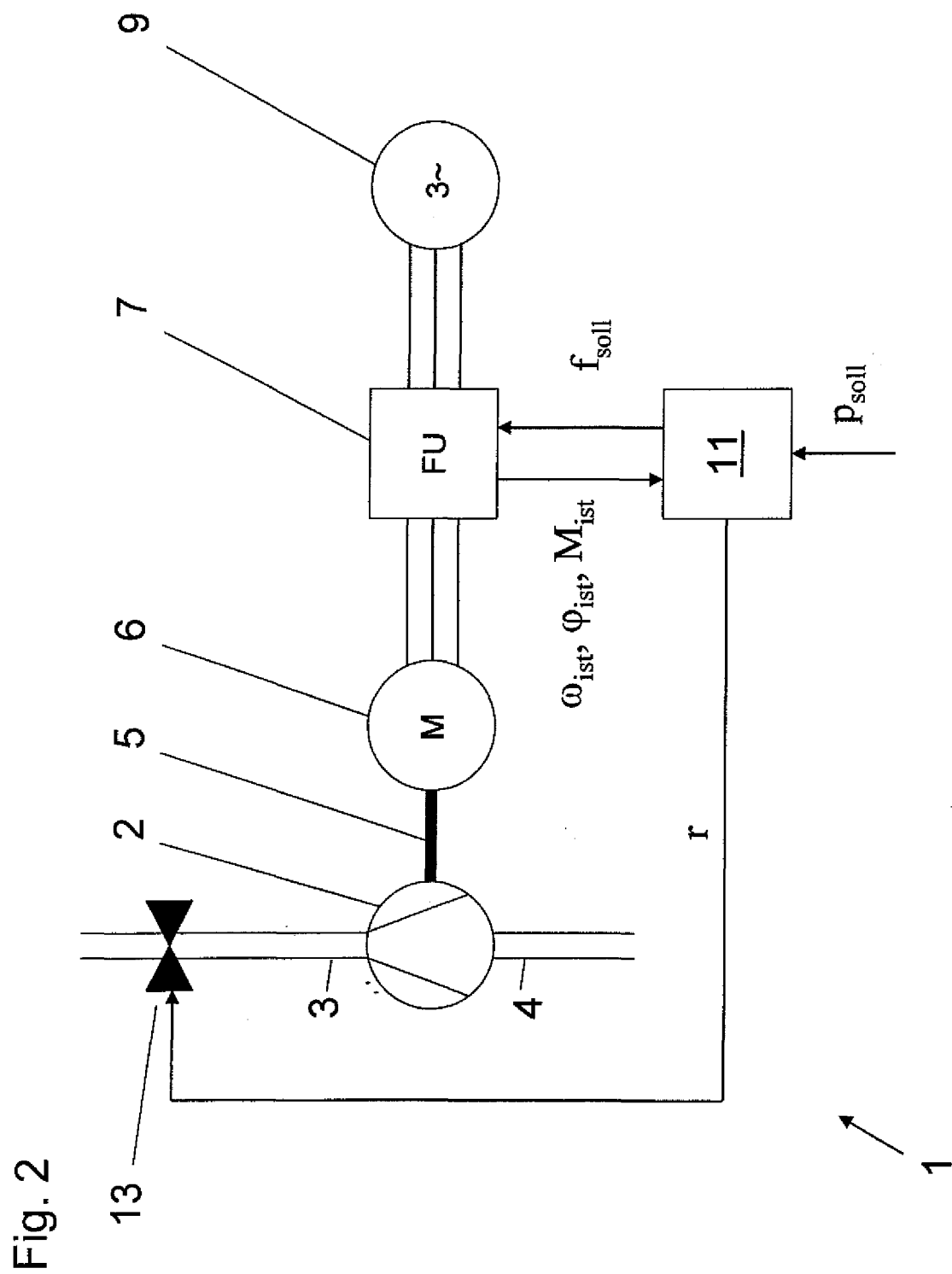


Fig. 3

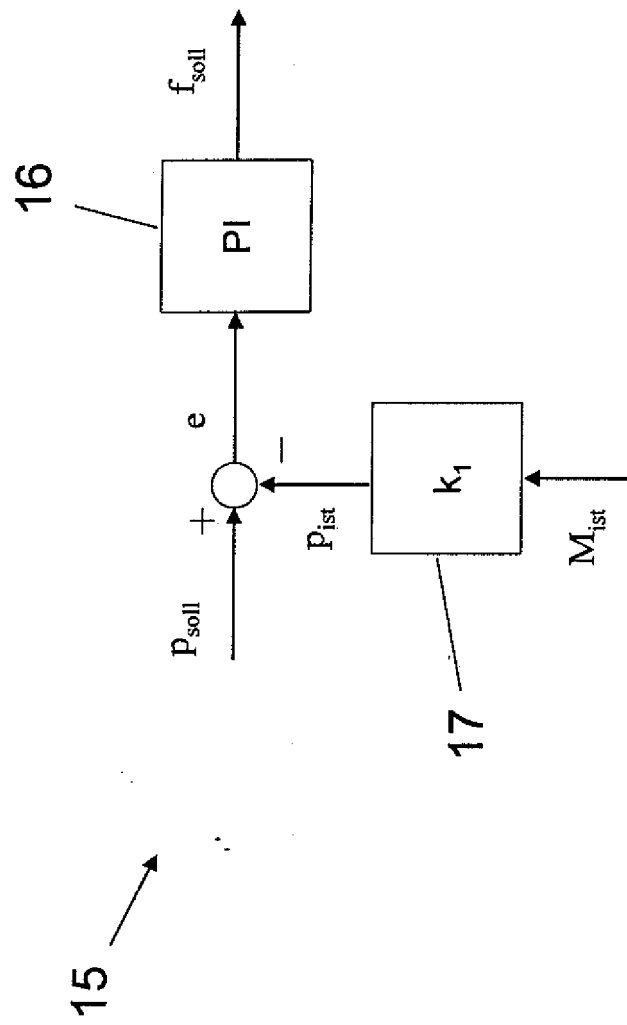


Fig. 4a

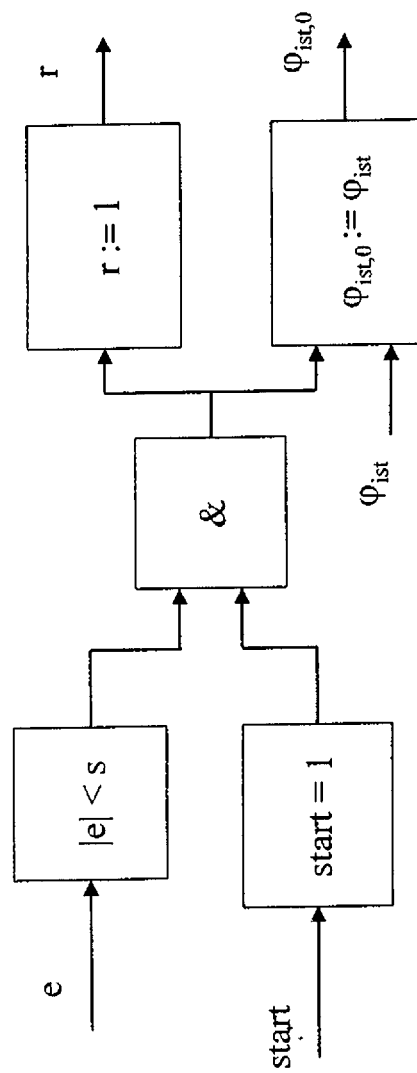
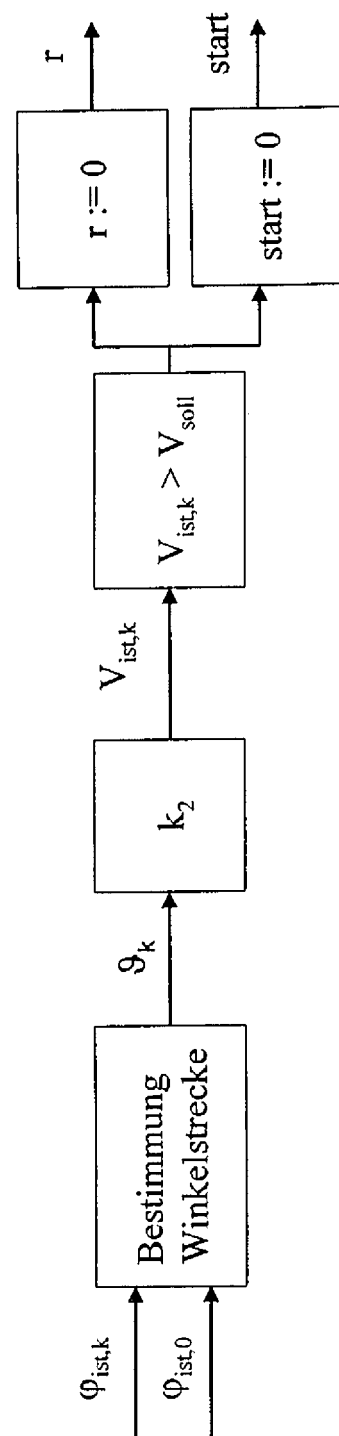


Fig. 4b



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 202005001746 U1 [0004]
- EP 0156399 A2 [0005]
- WO 03031918 A1 [0006]
- EP 2196678 A1 [0007]
- GB 2352533 A [0008]
- US 20030127289 A1 [0009]