(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 4 556 721 A1

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
21.05.2025 Patentblatt 2025/21

(21) Anmeldenummer: **23209588.5**

(22) Anmeldetag: **14.11.2023**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F15B 15/14 (2006.01) ***F15B 15/18*** (2006.01)
F15B 15/28 (2006.01) ***F15B 19/00*** (2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F15B 15/18; F15B 15/1476; F15B 15/2838; F15B 19/005; F15B 2211/20515; F15B 2211/20538; F15B 2211/40515; F15B 2211/41563; F15B 2211/426; F15B 2211/50518; F15B 2211/50536; F15B 2211/5157; F15B 2211/526; F15B 2211/6306; F15B 2211/6309;
(Forts.)

(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 ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Robert Bosch GmbH**
70442 Stuttgart (DE)

(72) Erfinder:
- **Duarte Da Silva, Joao Pedro**
  97082 Wuerzburg (DE)
- **Hendrix, Gottfried**
  97737 Gemuenden (DE)
- **Orth, Alexandre**
  97265 Hettstadt (DE)

(54) **VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER UNTERWASSER-STELLVORRICHTUNG**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Unterwasser-Stellvorrichtung (100b, 140), die mittels einer elektrohydraulischen Antriebseinheit (100a; 110, 120, 122) gesteuert wird, umfassend ein Erfassen mindestens einer Betriebsgröße der elektrohydraulischen Antriebseinheit (100a; 110, 120, 122) während einer Verstellung der Unterwasser-Stellvorrichtung (100b, 140) mittels mindestens eines Sensors (130a), wobei die mindestens eine Betriebsgröße einen von der elektrohydraulischen Antriebseinheit (100a; 110, 120, 122) bereitgestellten hydraulischen Druck umfasst; ein Bestimmen mindestens einer Überwachungsgröße der Unterwasser-Stellvorrichtung (100b, 140) basierend auf der mindestens einen erfassten Betriebsgröße der elektrohydraulischen Antriebseinheit (100a; 110, 120, 122); und ein Steuern der Unterwasser-Stellvorrichtung (100b, 140) basierend auf der mindestens einen bestimmten Überwachungsgröße.

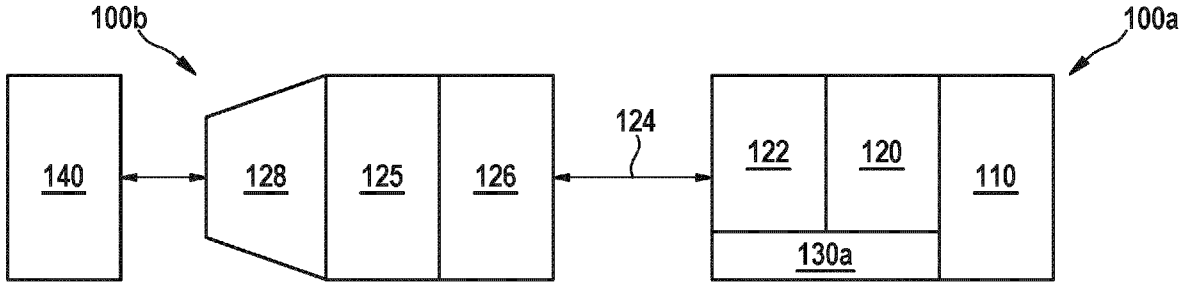

Fig. 1b

EP 4 556 721 A1

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC): (Forts.)
F15B 2211/633; F15B 2211/6336;
F15B 2211/7052; F15B 2211/7054;
F15B 2211/8752

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Unterwasser-Stellvorrichtung, die von einer elektrohydraulischen Antriebseinheit gesteuert wird, sowie eine Recheneinheit und ein Computerprogramm zu dessen Durchführung. Des Weiteren betrifft die Erfindung eine elektrohydraulische Antriebseinheit für eine Unterwasser-Stellvorrichtung und ein Unterwasser-Stellsystem umfassend eine elektrohydraulische Antriebseinheit und eine U nterwasser-Stellvorrichtung.

Hintergrund der Erfindung

[0002] In vielen Bereichen können Unterwasser-Stellvorrichtungen mit elektrohydrostatischen Aktoren und davon betätigten Mechanismen eingesetzt werden. Ein Anwendungsfall ist z.B. die Verwendung eines elektrohydrostatischen Aktors unter Wasser, z.B. um Prozessventile in Leitungssystemen (Pipelines oder dergleichen) zu betätigen. In diesem, aber auch in anderen Anwendungsfällen ist eine möglichst hohe Verfügbarkeit der Aktoren wünschenswert. Um diese bereitzustellen, kann ein Zustand der Aktoren z.B. mittels Positions- oder Vibrationssensoren überwacht werden, wodurch sich jedoch deren Kosten und Bauteilaufwand erhöhen kann.

Offenbarung der Erfindung

[0003] Erfindungsgemäß werden ein Verfahren zum Betreiben einer Unterwasser-Stellvorrichtung, die von einer elektrohydraulischen Antriebseinheit gesteuert wird, eine Recheneinheit und ein Computerprogramm zu dessen Durchführung, sowie eine elektrohydraulische Antriebseinheit für eine Unterwasser-Stellvorrichtung und ein Unterwasser-Stellsystem umfassend eine elektrohydraulische Antriebseinheit und eine Unterwasser-Stellvorrichtung mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vorgeschlagen. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

[0004] Die Erfindung ermöglicht es, anhand von Betriebsgrößen einer elektrohydraulischen Antriebseinheit für eine Unterwasser-Stellvorrichtung, umfassend zumindest einen hydraulischen Druck, auf den Zustand der Unterwasser-Stellvorrichtung zu schließen. Auf diese Weise kann auf Sensoren, welche Zustände der Unterwasser-Stellvorrichtung, wie beispielsweise deren Position oder Verstellgeschwindigkeit direkt messen, verzichtet werden, wodurch sich die Kosten und der Bauteilaufwand des Stellsystems verringern. Zudem bietet die Erfindung die Möglichkeit, das Stellsystem modular aufzubauen und die elektrohydraulische Antriebseinheit mit unterschiedlichen Unterwasser-Stellvorrichtungen, z.B. von unterschiedlichen Herstellern, zu kombinieren.

[0005] Gemäß einer Ausführungsform kann die Unterwasser-Stellvorrichtung einen Aktor und ein Prozessventil umfassen. Bei dem Aktor kann es sich insbesondere um einen hydrostatischen Aktor, z.B. um einen Linearaktor oder einen Rotationsaktor handeln. Diese kann in einer weiteren Ausführungsform eine Rückstellfeder umfassen, welche den Aktor in eine sichere Grundstellung (Fail-Safe-Position) bewegt. Ein elektrischer oder ein pneumatischer Aktor ist ebenso möglich. Das Prozessventil kann beispielsweise ein Schieberventil oder ein Rotationsventil sein.

[0006] Die elektrohydraulische Antriebseinheit umfasst mindestens einen Sensor und ist dazu eingerichtet, die Unterwasser-Stellvorrichtung zu steuern. Die elektrohydraulische Antriebseinheit kann beispielsweise eine elektrisch angetriebene Hydraulikpumpe sowie ein Druckentlastungsventil umfassen, um eine benötigte Menge an hydraulischer Energie für den hydrostatischen Aktor bereitzustellen. Die elektrohydraulische Antriebseinheit kann beispielsweise mindestens einen Drucksensor zur Erfassung des bereitgestellten hydraulischen Drucks und einen Drehzahlsensor zur Erfassung einer Drehzahl/Winkelgeschwindigkeit der Hydraulikpumpe enthalten.

[0007] Im Einzelnen wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren mindestens eine Betriebsgröße der Antriebseinheit während einer Verstellung der Unterwasser-Stellvorrichtung mittels mindestens eines Sensors erfasst. Die mindestens eine Betriebsgröße umfasst dabei einen von der elektrohydraulischen Antriebseinheit bereitgestellten hydraulischen Druck. Eine Verstellung der Unterwasser-Stellvorrichtung kann beispielsweise ein Öffnen oder Schließen eines Prozessventils beinhalten. Ein Beginn und/oder ein Ende einer Verstellung kann dabei z.B. ebenfalls mittels der mindestens einen Betriebsgröße detektiert werden. Beispielsweise kann diese zu Beginn oder am Ende einer Verstellung sprungartig absinken oder ansteigen. Ein sprungartiger Abfall oder Anstieg der Betriebsgröße kann z.B. dann detektiert werden, wenn ein Gradient der Betriebsgröße einen vorbestimmten Wert überschreitet. Insbesondere kann ein Beginn und ein Ende einer Verstellung durch die Antriebseinheit bewirkt/gesteuert werden, indem diese eine benötigte Menge an Antriebsenergie bereitstellt. Ein Beginn einer Verstellung kann von der Antriebseinheit beispielsweise aufgrund eines externen Signals, das von einer Recheneinheit der Antriebseinheit empfangen werden kann, eingeleitet werden. Beispielsweise kann ein Schließen des Prozessventils aufgrund einer Wartung oder eines Lecks im Leitungssystem erforderlich sein und ein Steuerungs-Master des Leitungssystems ein Signal an die Recheneinheit der Antriebseinheit ausgeben.

[0008] Basierend auf der mindestens einen erfassten Betriebsgröße der Antriebseinheit wird mindestens eine Überwachungsgröße der Unterwasser-Stellvorrichtung bestimmt. Insbesondere können eine Vielzahl von Überwachungs-

größen aus der erfassten Betriebsgröße der Antriebseinheit bestimmt werden. Mit anderen Worten kann anhand der erfassten Betriebsgröße bzw. anhand einer Vielzahl von Merkmalen der erfassten Betriebsgröße auf ein Verhalten der Unterwasser-Stellvorrichtung geschlossen werden, das während nachfolgender Verstellungen überwacht werden kann. Dabei wird die Unterwasser-Stellvorrichtung basierend auf der mindestens einen Überwachungsgröße gesteuert. Insbesondere kann die mindestens eine Überwachungsgröße genutzt werden, um Ansteuerparameter der Antriebseinheit, mittels derer die Unterwasser-Stellvorrichtung betrieben wird, entsprechend anzupassen.

[0009] Gemäß einer Ausführungsform kann die mindestens eine Überwachungsgröße zudem mit einem Referenzwert verglichen werden, und es kann z.B. eine Fehlfunktion der Unterwasser-Stellvorrichtung detektiert werden, wenn eine Abweichung zwischen der mindestens einen bestimmten Überwachungsgröße und dem Referenzwert einen vorbestimmten Schwellwert überschreitet. Bei dem Referenzwert kann es sich beispielsweise um einen Wert der mindestens einen Überwachungsgröße im Neuzustand der Unterwasser-Stellvorrichtung handeln. Gemäß einer Ausführungsform kann eine Position der Unterwasser-Stellvorrichtung als erste Überwachungsgröße basierend auf einer Änderung der mindestens einen Betriebsgröße während der Verstellung bestimmt werden. Bei der verwendeten elektrohydraulischen Antriebseinheit in Verbindung mit dem hydrostatischen Aktor kann die erste Überwachungsgröße durch eine Änderung des hydraulischen Drucks während der Verstellung bestimmt werden.

[0010] Gemäß einer Ausführungsform kann dabei die Position des hydrostatischen Aktors basierend auf einem integrierten Volumenstrom und einer Änderung des hydraulischen Drucks der elektrohydraulischen Antriebseinheit während der Verstellung bestimmt werden. Dabei kann z.B. eine von der elektrohydraulischen Antriebseinheit von einem Beginn der Verstellung bis zu einem Zeitpunkt t gelieferte Menge an Hydraulikflüssigkeit abzüglich einer zur Erzeugung eines Druckanstiegs $\Delta p(t)$ in dem Aktor benötigten Menge an Hydraulikflüssigkeit zur Bestimmung von dessen Volumenänderung im Arbeitsraum $V_{SVA}(t)$ und damit dessen Position $l_{SVA}(t)$ herangezogen werden. Mit anderen Worten kann eine Mengenbilanz einer von der Antriebseinheit gelieferten und einer von dem hydrostatischen Aktor "verbrauchten" Menge an Hydraulikflüssigkeit z.B. gemäß nachfolgender Gleichung (1) durchgeführt werden, wobei zusätzliche eine Leckagemenge V_{leak} des hydrostatischen Aktors berücksichtigt wird:

$$V_g \omega_p(t) - q v_{leak}(t) = A_A \frac{dl_{SVA}}{dt} + \frac{V}{\beta_e}\frac{dp}{dt} \tag{1.1}$$

$$l_{SVA}(t) = \frac{1}{A_A}\left[V_g \int_{t_0}^{t} \omega_p(t)dt - \frac{V}{\beta_e}\int_{t_0}^{t}\frac{dp}{dt}dt - \int_{t_0}^{t} q v_{leak}(t)dt\right] \tag{1.2}$$

$$l_{SVA}(t) = \frac{1}{A_A}\left[V_g \left(\int_{t_0}^{t} \omega_p(t)dt\right) - \frac{V}{\beta_e}\Delta p - V_{leak}\right] \tag{1.3}$$

[0011] Dabei bezeichnen $l_{SVA}(t)$ die Position des Aktors zum Zeitpunkt t, A_A eine wirksame Fläche des hydrostatischen Aktors, V_g ein Schluckvolumen der Hydraulikpumpe der elektrohydraulische Antriebseinheit, t_0 einen Startzeitpunkt der Verstellung, ω_P eine Winkelgeschwindigkeit der Hydraulikpumpe, V ein unter Druck stehendes Volumen der Hydraulikflüssigkeit, β_e das Kompressionsmodul der Hydraulikflüssigkeit, $\Delta p(t)$ die Druckänderung zum Zeitpunkt t bezogen auf den Startzeitpunkt t_0 der Verstellung und V_{leak} die Leckagemenge des hydrostatischen Aktors.

[0012] Der Druck bzw. die Druckänderung $\Delta p(t)$ in der elektrohydraulischen Antriebseinheit sowie die Winkelgeschwindigkeit ω_P der Hydraulikpumpe können z.B. mittels ein Drucksensors an einer Ausgangsleitung der Antriebseinheit und eines Drehzahlsensors an einer Antriebswelle der Hydraulikpumpe ermittelt werden. Die Leckagemenge V_{leak} des hydrostatischen Aktors kann, z.B. anhand von im Voraus durchgeführten Versuchen auf einem Hydraulikprüfstand, bestimmt und als Kenngröße in der Recheneinheit gespeichert werden.

[0013] Um die Leckagemenge V_{leak} des hydrostatischen Aktors während seines Betriebs noch genauer zu bestimmen, kann diese gemäß einer Ausführungsform zudem basierend auf einem integrierten Volumenstrom und einer Änderung des hydraulischen Drucks der elektrohydraulischen Antriebseinheit bestimmt werden, wenn sich der hydrostatische Aktor in einer maximalen Position befindet. In diesem Fall entspricht die Position des Aktors seinem maximalen Verstellweg und ist folglich bekannt. Daher kann zu diesem Zeitpunkt aus der obigen Gleichung (1) die Leckagemenge bestimmt werden. Die Bestimmung der Leckagemenge kann z.B. bei einer Vielzahl von Öffnungsvorgängen der Unterwasser-Stellvorrichtung wiederholt werden, so dass beispielsweise mittels einer Regression zukünftige Leckagemengen vorausgesagt werden können, wodurch die Aktorposition genauer bestimmt werden kann.

[0014] Gemäß einer Ausführungsform kann eine Reibungskraft als zweite Überwachungsgröße der Unterwasser-Stellvorrichtung basierend auf einem Verlauf der mindestens einen Betriebsgröße während der Verstellung bestimmt

werden. Insbesondere kann eine Reibungskraft des Prozessventils der Unterwasser-Stellvorrichtung basierend auf einem ersten Bereich des Verlaufs der mindestens einen Betriebsgröße während der Verstellung bestimmt werden. Der erste Bereich kann dabei einen Verstellbereich der Unterwasser-Stellvorrichtung umfassen, in dem das Prozessventil geschlossen ist. Insbesondere kann der erste Bereich einen Verlauf der mindestens einen Betriebsgröße von einem Beginn einer Verstellung bis zu einem Zeitpunkt, an dem sich das Prozessventil öffnet, enthalten. Der Öffnungszeitpunkt des Prozessventils kann dabei anhand des Verlaufs der Betriebsgröße bestimmt werden, wie nachfolgend erläutert wird.

[0015] Bei geschlossenem Prozessventil wirkt ein Druck eines an dem Prozessventil anliegenden Mediums, das durch das Leitungssystem gefördert wird, auf die Unterwasser-Stellvorrichtung. Dadurch erhöht sich eine zu überwindende Reibungskraft in dem Prozessventil (z.B. zwischen dessen Stellelement und einer zugehörigen Dichtung) bis zu einem Zeitpunkt, an dem sich das Prozessventil einen Spalt öffnet und sich ein Druckgleichgewicht an dem Prozessventil einstellt. Dieser Zeitpunkt kann als Öffnungszeitpunkt des Prozessventils definiert werden. Um die Reibungskraft zu überwinden, muss kurzzeitig eine erhöhte Gegenkraft auf den Aktor aufgebracht werden, die zum Öffnungszeitpunkt des Prozessventils schlagartig reduziert werden kann. Da diese mittels der mindestens einen Betriebsgröße bereitgestellt wird (z.B. mittels des von der hydraulischen Antriebseinheit bereitgestellten Drucks im Arbeitsraum des hydrostatischen Aktors), ist der Öffnungszeitpunkt in deren Verlauf anhand eines entsprechenden negativen Gradienten deutlich sichtbar und kann z.B. anhand eines vorbestimmten Schwellenwerts für den Gradienten in einem vorbestimmten Zeitbereich nach Beginn einer Verstellung bestimmt werden. Der Wert der Betriebsgröße, z.B. des hydraulischen Drucks, vor dem Öffnungszeitpunkt des Prozessventils ist wiederum proportional zu der Reibungskraft des Prozessventils und kann zur Bestimmung von dessen Reibungsbeiwert verwendet werden. Der Reibungsbeiwert kann beispielsweise bei jedem Öffnen und Schließen des Prozessventils bestimmt und mit einem Referenzwert des Reibungsbeiwerts im Neuzustand des Prozessventils verglichen werden. Weicht der bestimmte Reibungsbeiwert mehr als ein vorbestimmter Schwellenwert von dem Referenzwert ab, so kann z.B. eine Wartung des Prozessventils durchgeführt werden oder dieses ausgetauscht werden.

[0016] Weiterhin kann eine Reibungskraft des Aktors der Unterwasser-Stellvorrichtung basierend auf einem zweiten Bereich des Verlaufs der mindestens einen Betriebsgröße während der Verstellung bestimmt werden, wobei der zweite Bereich einen Verstellbereich der Unterwasser-Stellvorrichtung umfassen kann, in dem das Prozessventil geöffnet ist. Insbesondere kann der zweite Bereich einen Verlauf der mindestens einen Betriebsgröße von einem Öffnungszeitpunkt des Prozessventils bis zu einem Ende der Verstellung enthalten. In diesem Bereich ist die oben beschriebene Reibungskraft des Prozessventils nicht mehr wirksam und es kann aus dem Verlauf der mindestens einen Betriebsgröße auf die Reibungskraft des Aktors geschlossen werden. Wird beispielsweise ein Verlauf des hydraulischen Drucks für den hydrostatischen Aktor während eines Öffnens und eines Schließens des Prozessventils in dem zweiten Bereich als Funktion der Aktorposition/des Verstellwegs des Aktors ausgewertet, so kann aus einer Differenz zwischen den beiden Druckverläufen in diesem Bereich auf die Reibungskraft des Aktors geschlossen werden, da diese beim Öffnen in eine entgegensetzte Richtung zu dem hydraulischen Druck und beim Schließen in eine gleiche Richtung wie der hydraulische Druck wirkt. Die Reibungskraft des Aktors kann beispielsweise bei jeder Verstellung der Unterwasser-Stellvorrichtung bestimmt und mit einem Referenzwert im Neuzustand des Aktors verglichen werden. Weicht die bestimmte Reibungskraft mehr als ein vorbestimmter Schwellenwert von dem Referenzwert ab, so kann z.B. eine Wartung des Aktors durchgeführt werden oder dieser ausgetauscht werden.

[0017] Umfasst der hydrostatische Aktor zudem eine Rückstellfeder, so kann eine Vorspannkraft der Rückstellfeder basierend auf einem Gradienten der mindestens einen Betriebsgröße, insbesondere basierend auf einem Druckgradienten, im zweiten Bereich des Verlaufs bestimmt werden. Dazu kann insbesondere eine Verstellung zum Öffnen des Prozessventils genutzt werden, bei der die Rückstellfeder zusammengedrückt und damit ihre Federkraft erhöht wird. Diese Erhöhung der Federkraft bewirkt eine Erhöhung des von der elektrohydraulischen Antriebseinheit für den Aktor bereitgestellten hydraulischen Drucks, die mittels des Druckgradienten ausgewertet werden kann. Basierend auf dem ermittelten Druckgradienten kann die Vorspannkraft der Feder sowie deren Federkonstante bestimmt werden. Analog zu der Leckagemenge des hydraulischen Aktors kann auch die Bestimmung der Vorspannkraft der Rückstellfeder z.B. bei einer Vielzahl von Öffnungsvorgängen der Unterwasser-Stellvorrichtung wiederholt werden, so dass diese beispielsweise mittels einer Regression für zukünftige Verstellungen vorausgesagt und somit die Reibungskraft des Aktors genauer bestimmt werden kann.

[0018] Eine erfindungsgemäße Recheneinheit, z.B. eine Steuerung einer Antriebseinheit für eine Unterwasser-Stellvorrichtung, ist, insbesondere programmtechnisch, dazu eingerichtet, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen.

[0019] Auch die Implementierung eines erfindungsgemäßen Verfahrens in Form eines Computerprogramms oder Computerprogrammprodukts mit Programmcode zur Durchführung aller Verfahrensschritte ist vorteilhaft, da dies besonders geringe Kosten verursacht, insbesondere wenn ein ausführendes Steuergerät noch für weitere Aufgaben genutzt wird und daher ohnehin vorhanden ist. Geeignete Datenträger zur Bereitstellung des Computerprogramms sind insbesondere magnetische, optische und elektrische Speicher, wie z.B. Festplatten, Flash-Speicher, EEPROMs, DVDs u.a.m. Auch ein Download eines Programms über Computernetze (Internet, Intranet usw.) ist möglich.

[0020] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der beiliegenden

Zeichnung.

[0021] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachfolgend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0022] Die Erfindung ist anhand von Ausführungsbeispielen in den Zeichnungen schematisch dargestellt und wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnungen ausführlich beschrieben.

Figurenbeschreibung

[0023]

Figuren 1a und 1b zeigen schematisch jeweils ein Unterwasser-Stellsystem umfassend eine Antriebseinheit und eine Unterwasser-Stellvorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Figur 2 zeigt schematisch und exemplarisch einen hydraulischen Schaltplan des in den Figuren 1a und 1b gezeigten Stellsystems.

Figur 3a und 3b zeigen jeweils ein Diagramm mit einem Druckverlauf einer elektrohydraulischen Antriebseinheit und einem Verstellweg eines hydrostatischen Aktors während eines Öffnens bzw. Schließens eines Prozessventils gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Figur 4 zeigt jeweils einen Ausschnitt der Druckverläufe aus den Figuren 3a und 3b als Funktion des Verstellwegs.

Detaillierte Beschreibung der Zeichnungen

[0024] Figuren 1a und 1b zeigen schematisch jeweils ein Unterwasser-Stellsystem umfassend eine elektrohydraulische Antriebseinheit und eine Unterwasser-Stellvorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0025] In Figur 1a ist schematisch ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Unterwasser-Stellsystems 100 dargestellt. Beispielhaft umfasst das Unterwasser-Stellsystem 100 einen elektrohydrostatischen Aktor 100, der hier schematisch mit einigen Komponenten angedeutet ist.

[0026] Der gezeigte elektrohydrostatische Aktor 100 weist eine als Steuer- oder Regeleinheit ausgebildete Recheneinheit 110, ein Hydraulikaggregat 122, das einen Tank und eine Hydraulikpumpe aufweist und mit einem elektrischen Antrieb 120 verbunden ist, sowie einen Aktor 126 mit einer Sicherheitsvorrichtung 125, und eine mechanische Schnittstelle 128 zum Anschließen eines Prozessventils 140 auf. Bei dem Prozessventil 140 kann es sich z.B. um ein Schieberventil in einem Leitungssystem (Pipeline oder dergleichen) handeln, das z.B. unter Wasser angeordnet ist und bei Bedarf betätigt werden können muss. In diesem Fall kann der Aktor 126 als Linearaktor ausgeführt sein. Es ist jedoch ebenfalls möglich, dass das Prozessventil als Rotationsventil und der Aktor entsprechend als Rotationsaktor ausgebildet ist.

[0027] Weiterhin weist der elektrohydrostatische Aktor 100 einen oder mehrere Sensoren 130 auf, mit denen z.B. ein oder mehrere Drücke in dem Hydraulikaggregat122 sowie eine Antriebsdrehzahl des elektrischen Antriebs 120 bzw. einer von diesem angetriebenen Hydraulikpumpe erfasst/gemessen werden können. Die Messwerte können an die Recheneinheit 110 übermittelt werden.

[0028] Da der in Figur 1a dargestellte elektrohydrostatische Aktor 100 den Antrieb 120, 122 und den Aktor 126 in einem Modul beinhaltet, können zusätzliche Messgrößen von an dem Aktor 126 angebrachten Sensoren, z.B. eine Position des Aktors 126, ebenfalls an die Recheneinheit 110 übermittelt werden. Insbesondere können Merkmale des Aktors 126 jedoch mittels in der Antriebseinheit 120, 122 enthaltenen Sensoren bestimmt werden.

[0029] Zusätzlich können ggf. Kommunikations- oder Datenleitungen vorgesehen sein, um Stellbefehle von extern, z.B. von einem Steuerungs-Master des Leitungssystems, an den elektrohydrostatischen Aktor 100 zu geben.

[0030] In Figur 1b ist ein Stellsystem 100a, 100b gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung gezeigt, welches die gleichen Komponenten umfasst wie der in Figur 1a gezeigte elektrohydrostatische Aktor, wobei diese jedoch in unterschiedlichen Modulen angeordnet sind. In diesem Fall bilden die Recheneinheit 110, der elektrische Antrieb 120 und das Hydraulikaggregat 122 mit den Sensoren 130a eine elektrohydraulische Antriebseinheit 100a, und der Aktor 126 mit der Sicherheitsvorrichtung 125 und der mechanischen Schnittstelle 128 gemeinsam mit dem Prozessventil 140 eine Unterwasser-Stellvorrichtung 100b. Die beiden Module können mittels einer hydraulischen Schnittstelle 124 verbunden sein. In diesem Fall sind an der Unterwasser-Stellvorrichtung 100b keine Sensoren enthalten, und Informationen über den Zustand der Unterwasser-Stellvorrichtung 100b werden anhand von Sensorsignalen der elektrohydraulischen Antriebseinheit 100a ermittelt.

[0031] Figur 2 zeigt schematisch einen beispielhaften hydraulischen Schaltplan des in Figur 1b gezeigten Stellsystems

100a, 100b. Dabei sind Elemente der einzelnen Komponenten 110, 120, 122, 125, 126 und 140 jeweils gestrichelt umrandet.

[0032] Dargestellt sind die elektrohydraulische Antriebseinheit 100a mit der Recheneinheit 110, dem elektrischen Antrieb 120, und dem Hydraulikaggregat122. Weiterhin ist die Unterwasser-Stellvorrichtung 100b mit dem hydrostatischen Aktor 126, der Sicherheitsvorrichtung 125 und dem Prozessventil 140 gezeigt. Im vorliegenden Fall ist der Aktor 126 als Linearaktor 126 ausgeführt. Die Antriebseinheit 100a und die Unterwasser-Stellvorrichtung 100b sind mittels der hydraulischen Schnittstelle 124 miteinander verbunden.

[0033] Das Hydraulikaggregat 122 der gezeigten elektrohydraulischen Antriebsvorrichtung 100a umfasst eine Hydraulikpumpe 27, die von dem elektrischen Antrieb 120 angetrieben wird, und Hydraulikflüssigkeit aus einem Tank T der Antriebseinheit 100a über eine Leitung 25 zu der hydraulischen Schnittstelle 124 fördert. Als Tank der Antriebseinheit 100a kann beispielsweise ein Volumen innerhalb der Antriebseinheit 100a, insbesondere der Innenraum selbst dienen. An einer nicht näher bezeichneten Antriebswelle zwischen dem elektrischen Antrieb 120 und der Hydraulikpumpe 27 ist ein Drehzahlsensor 130a2 angeordnet, mit dem eine Drehzahl/Winkelgeschwindigkeit der Hydraulikpumpe gemessen werden kann. In der Leitung 25 ist nahe der hydraulischen Schnittstelle 124 ein Drucksensor 130a1 angeordnet, der den von der elektrohydraulischen Antriebseinheit 100a bereitgestellten Druck erfasst. Stromaufwärts des Drucksensors 130a1 zweigt im gezeigten Beispiel ein Anschluss 29 von der Leitung 25 zu einem Druckentlastungsventil 28 ab, mittels dessen Hydraulikflüssigkeit aus dem Linearaktor 126 über die hydraulische Schnittstelle 124 in den Tank T der Antriebseinheit 100a geleitet werden kann. Zwischen der Hydraulikpumpe 27 und dem Anschluss 29 des Druckentlastungsventils 28 ist im gezeigten Beispiel in der Leitung 25 ein Rückschlagventil 26 angeordnet, das ein Rückströmen der Hydraulikflüssigkeit in die Hydraulikpumpe 27 bei Entlastung des Linearaktors 126 verhindert. Zudem befindet sich im gezeigten Beispiel stromaufwärts des Druckentlastungsventils 28 ein variables Drosselventil 28aa, mit dem eine Menge der aus dem Linearaktor 126 strömender Hydraulikflüssigkeit gesteuert/geregelt werden kann. Dabei kann ein Öffnungsquerschnitt des Drosselventils 28aa und damit ein Durchfluss durch das Drosselventil 28aa gesteuert werden. Insbesondere kann es sich bei dem variablen Drosselventil 28aa um ein elektrisches Ventil handeln, dessen Querschnitt, z.B. von der Recheneinheit 110, mittels eines Ansteuerstroms bzw. einer Ansteuerspannung variiert werden kann.

[0034] Der elektrische Antrieb 120 ist signaltechnisch mit der Recheneinheit 110 verbunden, welche Signale von dem Drucksensor 130a1 und dem Drehzahlsensor 130a2 empfängt und, z.B. basierend auf den empfangenen Sensorsignalen, Ansteuersignale an den elektrischen Antrieb 120 sowie das Hydraulikaggregat 122 ausgibt. Des Weiteren kann die Recheneinheit 110 weitere Signal-/Dateneingänge umfassen, um Stellbefehle von extern, z.B. von einem Steuerungs-Master des Leitungssystems, zu empfangen. Dieser kann beispielsweise einen Befehl zum Schließen des Prozessventils 140 an die Recheneinheit senden, wenn eine Wartung oder eine Reparatur im Leitungssystem erforderlich ist.

[0035] Der Linearaktor 126 der gezeigten Unterwasser-Stellvorrichtung 100b umfasst einen hydraulischen Zylinder 21, der als Gleichgangzylinder ausgeführt ist, und eine Kolbenstange 23 aufweist, an der ein Kolben 24 befestigt ist. Der Kolben 24 grenzt den Arbeitsraum 21aa gegen einen zweiten Zylinderraum 21ab ab, der hydraulisch mit einem Tank T des Linearaktors 126 verbunden ist. Als Tank des Linearaktors 126 kann beispielsweise ein Volumen innerhalb des Linearaktors 126, insbesondere der Innenraum selbst dienen. Der Arbeitsraum 21aa ist mittels einer nicht näher bezeichneten Leitung mit der hydraulischen Schnittstelle 124, und die hydraulische Schnittstelle 124 mit der Leitung 25 des Hydraulikaggregates 122 der Antriebseinheit 100a verbunden. Figur 2 zeigt dabei eine Stellung des hydraulischen Zylinders 21 bei geöffnetem Entlastungsventil 28, in welcher der Arbeitsraum 21aa minimale Größe hat, während der gegenüberliegende Zylinderraum 21ab maximale Größe hat.

[0036] An einem äußeren Ende der Kolbenstange 23 ist im gezeigten Beispiel eine hermetisch abgeschlossene Zylinderkammer 21ac angeordnet bzw. erzeugbar, in der sich bei Bewegung der Kolbenstange 23 ein Vakuum bildet. Eine Volumenänderung der Zylinderkammer 21ac bei Bewegung des Kolbens entspricht zweckmäßigerweise einer Volumenänderung des Anteils der Kolbenstange außerhalb des Gehäuses, d.h. das Pendelvolumen des hydraulischen Zylinders 21 kann reduziert werden.

[0037] Der Linearaktor 126 ist mit der Sicherheitsvorrichtung 125 über die gemeinsame Kolbenstange 23 verbunden. Die Sicherheitsvorrichtung 125 enthält vorliegend ein Gehäuse 1, in dem an der Kolbenstange 23 ein weiterer Kolben 4 angeordnet ist. Zwischen dem Kolben 4 und einer Stirnseite des Gehäuses 1 ist eine Feder 6 eingespannt. Das Gehäuse 1 der Sicherheitsvorrichtung 125 kann mit einer Hydraulikflüssigkeit gefüllt sein. Vorliegend weist die Feder 6 der Sicherheitsvorrichtung ihren maximalen Federweg auf und drückt dadurch den Kolben 4 in eine Endposition. Mittels der gemeinsamen Kolbenstange 23 wird durch die Federkraft auch der Kolben 24 des hydraulischen Zylinders 21 in eine Endposition bewegt, in welcher der Arbeitsraum 21 aa minimale Größe hat.

[0038] Auf einer dem Linearaktor 126 gegenüberliegenden Seite der Sicherheitsvorrichtung 125 ist die mechanische Schnittstelle 128 angeordnet, mittels derer diese mit dem Prozessventil 140 verbunden werden kann.

[0039] Das gezeigte Prozessventil 140 umfasst eine Scheibe 140b, die in Folge einer Bewegung der Kolbenstange 23 einen Ventilkanal 34 öffnet und schließt. Wenn der Kanal 34, wie vorliegend dargestellt, durch die Scheibe 140b verschlossen ist, so ist ein Raum 140a, welcher an die Scheibe 140b angrenzt, ebenfalls mit in dem Kanal 34 vorhandenen Fluid gefüllt. Dieses übt eine in Schließrichtung des Prozessventils 140 wirkende Kraft auf die Scheibe 140a aus und

unterstützt somit die Federkraft der Feder 6 der Sicherheitsvorrichtung 125.

[0040] Um das in Figur 2 gezeigte geschlossene Prozessventil zu öffnen, muss zunächst das Entlastungsventil 28 geschlossen und dann Hydraulikflüssigkeit von der Hydraulikpumpe 27 über die hydraulische Schnittstelle 124 zwischen Hydraulikaggregat 122 und Linearaktor 126 in den Arbeitsraum 21aa des Linearaktors 126 gefördert werden. Dadurch wirkt eine Kraft des hydraulischen Zylinders 21 gegen die Federkraft der Feder 6 der Sicherheitsvorrichtung 125, so dass die Feder 6 vorgespannt/zusammengedrückt wird. Die Kolbenstange 23 des Linearaktors 126 und der Sicherheitsvorrichtung 125 bewegt sich entgegen der Richtung der Federkraft und verschiebt die damit verbundene Scheibe 140b des Prozessventils 140 derart, dass der Ventilkanal 34 geöffnet wird (nicht dargestellt).

[0041] Eine Position des Linearaktors 126 kann während der Verstellung beispielsweise mittels einer Menge der aus dem Hydraulikaggregat 122 in den Arbeitsraum 21aa geförderten Hydraulikflüssigkeit und dem mittels des Drucksensors 130a1 gemessenen Druck (Betriebsgrö-βen der elektrohydraulischen Antriebseinheit 100a) am Ausgang des Hydraulikaggregates 122 bestimmt werden. Der geförderte Volumenstrom kann dabei anhand des Schluckvolumens der Hydraulikpumpe 27 und der gemessenen Drehzahl der Pumpe 27 bestimmt werden. Basierend auf diesen Messgrößen kann von der Recheneinheit 110 eine Mengenbilanz an der hydraulischen Schnittstelle 124, z.B. anhand von Gleichung (1) berechnet werden, mittels derer die Position des Linearaktors (erste Überwachungsgröße) während der Verstellung kontinuierlich bestimmt werden kann. Auf diese Weise kann die Verstellung des Prozessventils 140 auch ohne eine direkte Positionsmessung bzw. ohne Positionssensor bestimmt und der Linearaktor 126 entsprechend gesteuert werden.

[0042] Des Weiteren kann anhand der Messung des hydraulischen Drucks in der Antriebseinheit 100a am Ausgang des Hydraulikaggregates eine Reibung der Unterwasser-Stellvorrichtung 100b (zweite Überwachungsgröße) bestimmt werden. Der gemessene Druck an dieser Stelle entspricht im Wesentlichen einem Druck im Arbeitsraum 21aa des hydraulischen Zylinders 21.

[0043] Dazu zeigen die Figur 3a und 3b jeweils ein Diagramm mit einem Druckverlauf p_{HSU} der elektrohydraulischen Antriebseinheit 100a und einem Verstellweg l_{SVA} des Linearaktors 126 während eines Öffnens bzw. Schließens des Prozessventils 140, wobei der Verstellweg l_{SVA} (erste Überwachungsgröße) anhand der Mengenbilanz der Hydraulikflüssigkeit wie oben beschrieben ermittelt wurde.

[0044] Der in Figur 3a gezeigte Druckverlauf p_{HSU} während eines Öffnens des Prozessventils teilt sich in vier Bereiche p_0 bis p_3 auf. Bei geschlossenem Prozessventil wird der Kolben 24 in dem hydraulischen Zylinder 21 des Linearaktors 126 durch die Kraft der Feder 6 der Sicherheitsvorrichtung und einen Druck des Fluids in dem Raum 140a, der auf die Scheibe des Prozessventils 140 wirkt, in die Endposition gedrückt, in welcher der Arbeitsraum 21aa ein minimales Volumen aufweist. Dabei ist das Entlastungsventil 28 geöffnet, so dass der mittels des Drucksensors 130a1 gemessene Druck p0 am Ausgang des Hydraulikaggregates 122 in dieser Position im Wesentlichen dem Druck im Tank T der elektrohydraulischen Antriebseinheit 100 entspricht. Um das Prozessventil 140 aus dem geschlossenen Zustand zu öffnen, muss eine erhöhte Reibungskraft zwischen der Scheibe 140b und einer zugehörigen Dichtung (nicht dargestellt) überwunden werden, die sich aufgrund des Drucks in dem Raum 140a einstellt. Dazu muss der Druck des Hydraulikaggregates 122 auf den Wert p_1 angehoben werden, der im Zeitraum zwischen 12s und 60s am Ausgang des Hydraulikreises, und damit auch in dem Arbeitsraum 21aa des hydraulischen Zylinder 21 anliegt. In diesem ersten Bereich p_1 des Druckverlaufs p_{HSU} ist der Druck im Hydraulikaggregat 122 somit proportional zu der Reibungskraft des Prozessventils 140 und kann zur Bestimmung von dessen Reibungsbeiwert verwendet werden.

[0045] Zum Zeitpunkt t = 60s wird das Prozessventil einen Spalt geöffnet und an der Scheibe 140b anstehendes Fluid kann durch den Kanal 34 strömen. Dadurch stellt sich ein Druckgleichgewicht zwischen dem Raum 140a und dem Kanal 34 ein, wodurch die erhöhte Reibungskraft zwischen der Scheibe 140b und der zugehörigen Dichtung entfällt. Demzufolge kann der Druck im Hydraulikaggregat zur weiteren Öffnung des Prozessventils 140 auf den Druck p_2 abgesenkt werden, der in einem zweiten Bereich des Druckverlaufs p_{HSU} auf den Kolben 24 wirkt und dazu führt, dass das Prozessventil im Zeitraum zwischen 60 s und 365 s vollständig geöffnet wird. Der Druck p_2 ist dabei im Wesentlichen proportional zu der Summe aus einer der Kraft des hydraulischen Zylinders 21 entgegenwirkenden Kraft der Feder 6 und einer in dem Linearaktor 126 und der Sicherheitsvorrichtung 125 vorhandenen Reibung.

[0046] Wenn das Prozessventil 140 zum Zeitpunkt t = 365 s vollständig geöffnet ist, wird der Druck im Hydraulikaggregat 122 auf den Betriebsdruck p3 angehoben, mit dem das Prozessventil dauerhaft offengehalten wird.

[0047] Anhand des Druckverlaufs P_{HSU_o} wird deutlich, dass zwischen den beschriebenen einzelnen Öffnungsphasen p_1 bis p_3 des Prozessventils 140 jeweils ein Druckgradient auftritt, der zur Bestimmung eines Beginns und eines Endes der Verstellung sowie eines Öffnungszeitpunkt des Prozessventils herangezogen werden kann.

[0048] In gleicher Weise kann ein in Figur 3b gezeigter Druckverlauf p_{HSU_c} während eines Schlie-βens des Prozessventils 140 in einzelne Phasen aufgeteilt werden.

[0049] Zu Beginn des Schließvorgangs bei Öffnen des Druckentlastungsventils 28 (t ~ 420 s) sinkt dieser steil von dem Betriebsdruck p_3 auf einen Druck p_4 im Arbeitsraum 21aa des hydraulischen Zylinders 21 ab, welcher während des Schließvorgangs im Zeitraum von -420 s bis -425 s (zweiter Bereich des Druckverlaufs p_{HSU_c}) gemeinsam mit der Reibung des Linearaktors 126 und der Sicherheitsvorrichtung 125 der Federkraft der Feder 6 entgegensteht.

[0050] Zum Zeitpunkt t ~ 425 s verschließt die Scheibe 140a des Prozessventils 140 den Kanal 34, und die Federkraft

der Feder 6 muss die Reibungskraft zwischen Scheibe 140a und Dichtung zum vollständigen Schließen des Prozessventils 140 überwinden. In diesem Zeitraum zwischen -425 s und -428 s herrscht im Arbeitsraum 21aa der Druck ps, der nach dem vollständigen Schließen des Prozessventils auf den Ausgangsdruck p_0 abfällt, der sich einstellt, wenn zusätzlich der im Raum 140a anliegende Druck im Kanal 34 befindlichen Fluids in Schließrichtung des Prozessventils 140 auf den Linearaktor 126 wirkt. Dementsprechend kann auch aus dem Druck p_5 auf die Reibungskraft des Prozessventils geschlossen werden und der Bereich des Druckverlaufs p_{HSU_c} in dem dieser Druck herrscht entspricht dem ersten Bereich.

[0051] Analog zu dem Druckverlauf p_{HSU_o} beim Öffnen des Ventils weist auch der Druckverlauf p_{HSU_c} beim Schließen des Ventils zwischen den einzelnen Schließphasen Druckgradienten auf, die zur Bestimmung eines Beginns und eines Endes der Verstellung sowie eines Schließzeitpunkts des Prozessventils herangezogen werden können.

[0052] Dies ermöglicht es, zwischen den einzelnen Belastungen auf die Unterwasser-Stellvorrichtung 100b zu differenzieren und in dem ersten Bereich der Verstellung ($p_{HSU_o} = p_1$; $p_{HSU_c} = p_5$) die Reibung des Prozessventils 140 zu überwachen, während in dem zweiten Bereich der Verstellung ($p_{HSU_o} = p_2$; $p_{HSU_c} = p_4$) die Reibung des Linearaktors 126 und der Sicherheitsvorrichtung 125 überwacht werden kann.

[0053] Dies wird anhand von Figur 4, welche die relevanten Ausschnitte der Druckverläufe p_{HSU_o}, p_{HSU_c} aus den Figuren 3a und 3b als Funktion des Verstellwegs l_{SVA} zeigt, nochmals verdeutlicht.

[0054] Dabei zeigt Figur 4 den ersten und zweiten Bereich A_1, A_2 der Druckverläufe p_{HSU_o}, p_{HSU_c} beim Öffnen und Schließen des Prozessventils 140 über dem Verstellweg l_{SVA} des Linearaktors 126. In dem ersten Bereich A_1, bis zu einem Verstellweg von vorliegend l_{SVA_12} = 20mm, liegen jeweils die Drücke p_1 (Öffnen) und p_5 (Schließen) im Arbeitsraum 21aa des hydraulischen Zylinder 21 vor. Diese sind beide proportional zu der oben beschriebenen Reibungskraft des Prozessventils und können daher zur Bestimmung des Reibungsbeiwerts des Prozessventils herangezogen werden. Insofern kann in dem ersten Bereich A_1 der Druckverläufe p_{HSU_o}, p_{HSU_c} unterhalb des Verstellwegs l_{SVA_12} die Reibung des Prozessventils 140 während jeder Verstellung bestimmt und ein Verlauf des Reibungsbeiwerts überwacht werden. Der bestimmte Reibungsbeiwert kann beispielsweise nach jeder Verstellung mit einem Referenzwert im Neuzustand des Prozessventils 140 verglichen werden, und wenn eine Abweichung zwischen bestimmtem Reibungsbeiwert und Referenzwert einen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet, kann eine Wartung/Reparatur des Prozessventils 140 eingeleitet werden.

[0055] In dem zweiten Bereich A2 der Druckverläufe p_{HSU_o}, p_{HSU_c}, in dem die Reibungskraft des Prozessventils 140 nicht mehr wirksam ist, kann die Reibungskraft von Linearaktor 126 und Sicherheitsvorrichtung 125 anhand einer Differenz zwischen den Drücken p2 und p4 bestimmt werden. Diese wirkt während des Öffnens des Prozessventils 140 gegen die Drucckraft des hydraulischen Zylinder 21 und während des Schließens des Prozessventils 140 gegen die Federkraft der Feder 6 der Sicherheitsvorrichtung 125.

[0056] Insofern gilt während des Öffnungsvorgangs durch die Druckkraft des hydraulischen Zylinders 21:

$$p_2 \cdot A = F_F + F_R \qquad (2)$$

wobei A die Fläche des Kolbens 24, F_F die Federkraft und F_R die Reibungskraft bezeichnen.

[0057] Während des Schließvorgangs durch die Federkraft der Sicherheitsvorrichtung 126 gilt hingegen:

$$F_F = p_4 \cdot A + F_R \qquad (3)$$

[0058] Durch Einsetzen der Gleichung (3) in Gleichung (2) und Umstellen nach der Reibungskraft F_R folgt:

$$F_R = \frac{1}{2} \cdot A \cdot (p_2 - p_4) \qquad (4)$$

[0059] Die derart bestimmte Reibungskraft kann ebenfalls bei jeder Verstellung des Prozessventils 140 ermittelt und mit einem Referenzwert der Reibungskraft im Neuzustand des Linearaktors 126 und der Sicherheitsvorrichtung 125 verglichen werden. Überschreitet eine Abweichung zwischen bestimmter Reibungskraft und Referenzwert einen vorbestimmten Schwellenwert, kann eine entsprechende Wartung bzw. Reparatur eingeleitet werden.

[0060] Des Weiteren kann in dem zweiten Bereich A_2 bei bekannter Reibungskraft F_R eine Änderung der Federkraft ΔF_F über dem Verstellweg l_{SVA}, z.B. während des Öffnens des Prozessventils 140 basierend auf Gleichung (2) aus einem Druckgradienten Δp_2 ermittelt werden. Auch dieser Wert kann bei jeder Verstellung ermittelt und entsprechend überwacht werden.

[0061] Zusammenfassend wird anhand der beschriebenen Ausführungsbeispiele deutlich, dass es die Erfindung ermöglicht, mittels einer geeigneten Auswertung der Betriebsgrößen der Antriebsvorrichtung 100a, die Komponenten

der Unterwasser-Stellvorrichtung 100b ohne zusätzliche Sensoren zu steuern und zu überwachen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Unterwasser-Stellvorrichtung (100b, 140), die mittels einer elektrohydraulischen Antriebseinheit (100a; 110, 120, 122) gesteuert wird, umfassend die Schritte:

   - Erfassen mindestens einer Betriebsgröße der elektrohydraulischen Antriebseinheit (100a; 110, 120, 122) während einer Verstellung der Unterwasser-Stellvorrichtung (100b, 140) mittels mindestens eines Sensors (130a), wobei die mindestens eine Betriebsgröße einen von der elektrohydraulischen Antriebseinheit (100a; 110, 120, 122) bereitgestellten hydraulischen Druck umfasst;
   - Bestimmen mindestens einer Überwachungsgröße der Unterwasser-Stellvorrichtung (100b, 140) basierend auf der mindestens einen erfassten Betriebsgröße der elektrohydraulischen Antriebseinheit (100a; 110, 120, 122); und
   - Steuern der Unterwasser-Stellvorrichtung (100b, 140) basierend auf der mindestens einen bestimmten Überwachungsgröße.

2. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend die Schritte

   - Vergleichen der mindestens einen bestimmten Überwachungsgröße mit einem Referenzwert; und
   - Detektieren einer Fehlfunktion der Unterwasser-Stellvorrichtung (100b, 140), wenn eine Abweichung zwischen der mindestens einen bestimmten Überwachungsgröße und dem Referenzwert einen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Bestimmen der mindestens einen Überwachungsgröße umfasst:

   Bestimmen einer Position der Unterwasser-Stellvorrichtung (100b, 140) als erste Überwachungsgröße basierend auf einer Änderung der mindestens einen Betriebsgröße während der Verstellung.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Bestimmen der mindestens einen Überwachungsgröße umfasst:
   Bestimmen einer Reibungskraft als zweite Überwachungsgröße der Unterwasser-Stellvorrichtung (100b, 140) basierend auf einem Verlauf (p_{HSU_o}, p_{HSU_c}) der mindestens einen Betriebsgröße während der Verstellung.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die Unterwasser-Stellvorrichtung (100b, 140) einen Aktor (100b) und ein Prozessventil (140) umfasst, und eine Reibungskraft des Prozessventils (140) basierend auf einem ersten Bereich (A_1) des Verlaufs (p_{HSU_o}, p_{HSU_c}) der mindestens einen Betriebsgröße während der Verstellung und eine Reibungskraft des Aktors (100b) basierend auf einem zweiten Bereich (A_2) des Verlaufs (p_{HSU_o}, p_{HSU_c}) der mindestens einen Betriebsgröße während der Verstellung bestimmt werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei der erste Bereich (A_1) einen Verstellbereich der Unterwasser-Stellvorrichtung (100b, 140) umfasst, in dem das Prozessventil (140) geschlossen ist, und der zweite Bereich (A_2) einen Verstellbereich der Unterwasser-Stellvorrichtung (100b, 140) umfasst, in dem das Prozessventil (140) geöffnet ist.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, wobei der Aktor (100b) eine Rückstellfeder (6) enthält und das Bestimmen der mindestens einen Überwachungsgröße umfasst: Bestimmen einer Vorspannkraft der Rückstellfeder (6) als Überwachungsgröße basierend auf einem Gradienten der mindestens einen Betriebsgröße im zweiten Bereich (A_2) des Verlaufs (p_{HSU_o}, p_{HSU_c}).

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Aktor (100b) ein hydrostatischer Aktor (125, 126) ist und die Position der Unterwasser-Stellvorrichtung (100b, 140) basierend auf einem integrierten Volumenstrom und einer Änderung des hydraulischen Drucks der elektrohydraulischen Antriebseinheit (110, 120, 122) während der Verstellung bestimmt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei das Bestimmen der mindestens einen Überwachungsgröße umfasst:
   Bestimmen einer Leckage des hydrostatischen Aktors (125, 126) als Überwachungsgröße basierend auf einem integrierten Volumenstrom und einer Änderung des hydraulischen Drucks der elektrohydraulischen Antriebseinheit

(110, 120, 122), wenn sich der hydrostatische Aktor (125, 126) in einer maximalen Position befindet.

10. Recheneinheit (110), die dazu eingerichtet ist, ein Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche durchzuführen.

11. Computerprogramm, das eine Recheneinheit (110) veranlasst, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9 durchzuführen, wenn es auf der Recheneinheit (110) ausgeführt wird.

12. Maschinenlesbares Speichermedium mit einem darauf gespeicherten Computerprogramm nach Anspruch 11.

13. Elektrohydraulische Antriebseinheit (100a; 110, 120, 122) für eine Unterwasser-Stellvorrichtung (100b, 140) umfassend einen elektrischen Antrieb, eine Hydraulikpumpe, mindestens einen Sensor (130a) und eine Recheneinheit (110) nach Anspruch 10.

14. Unterwasser-Stellsystem umfassend eine elektrohydraulische Antriebseinheit (100a; 110, 120, 122) nach Anspruch 13 und eine Unterwasser-Stellvorrichtung (100b, 140).

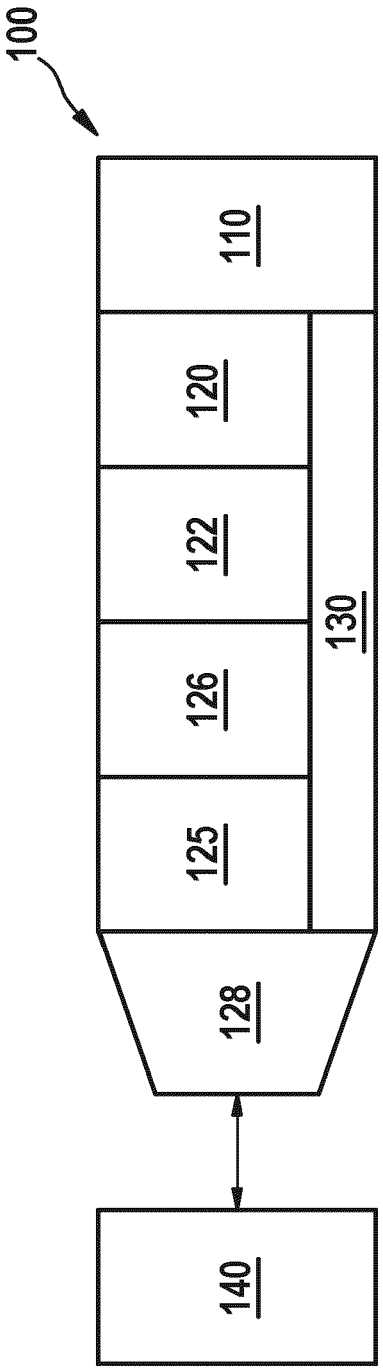
100
110
120
122
126
125
130
128
140

Fig. 1a

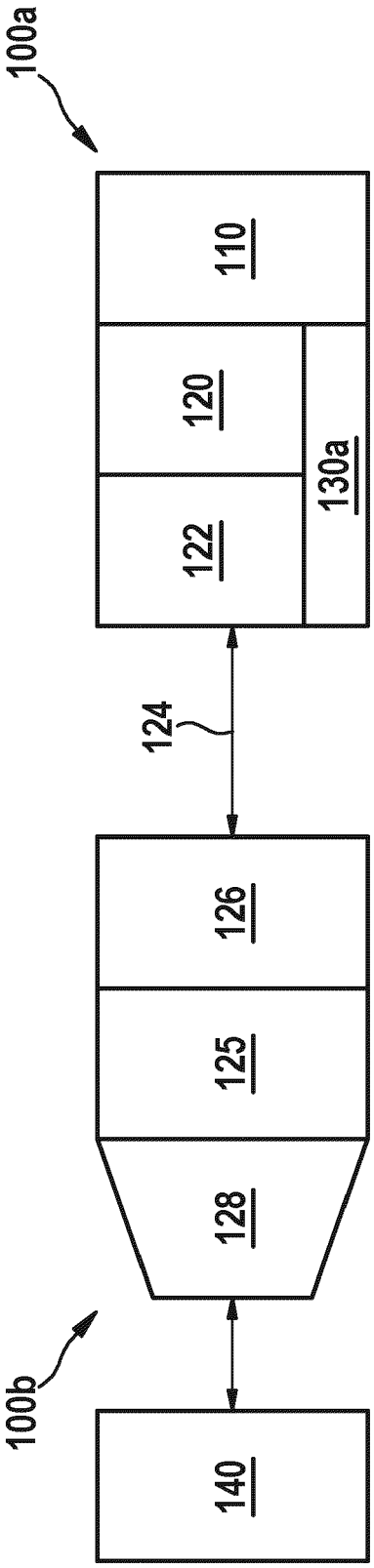
100a
110
120
122
130a
124
126
125
128
100b
140

Fig. 1b

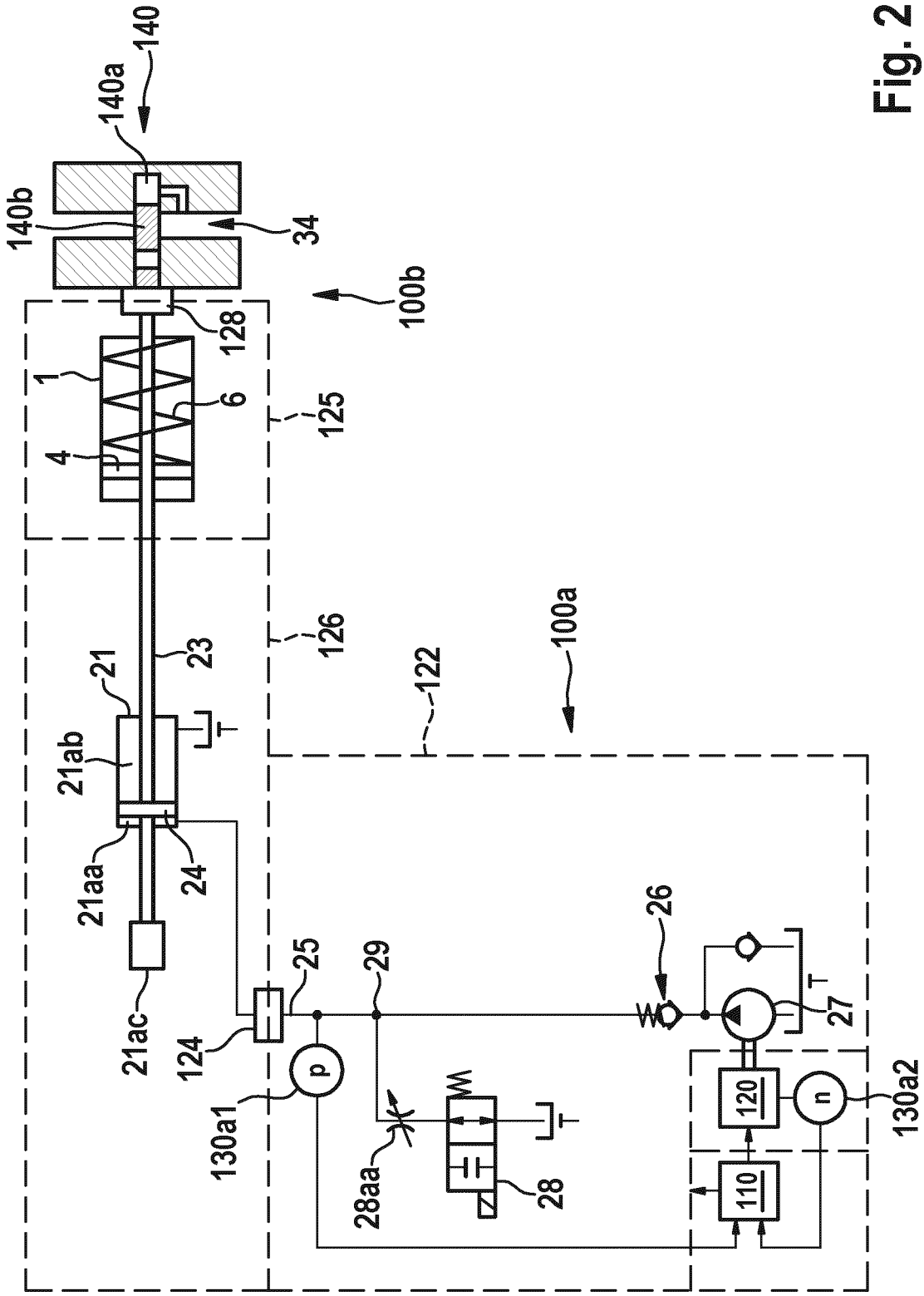
140
140a
140b
34
100b
128
1
6
125
4
126
100a
122
23
21
21ab
T
21aa
24
21ac
124
25
29
26
27
T
130a1
p
28aa
28
120
n
130a2
110

Fig. 2

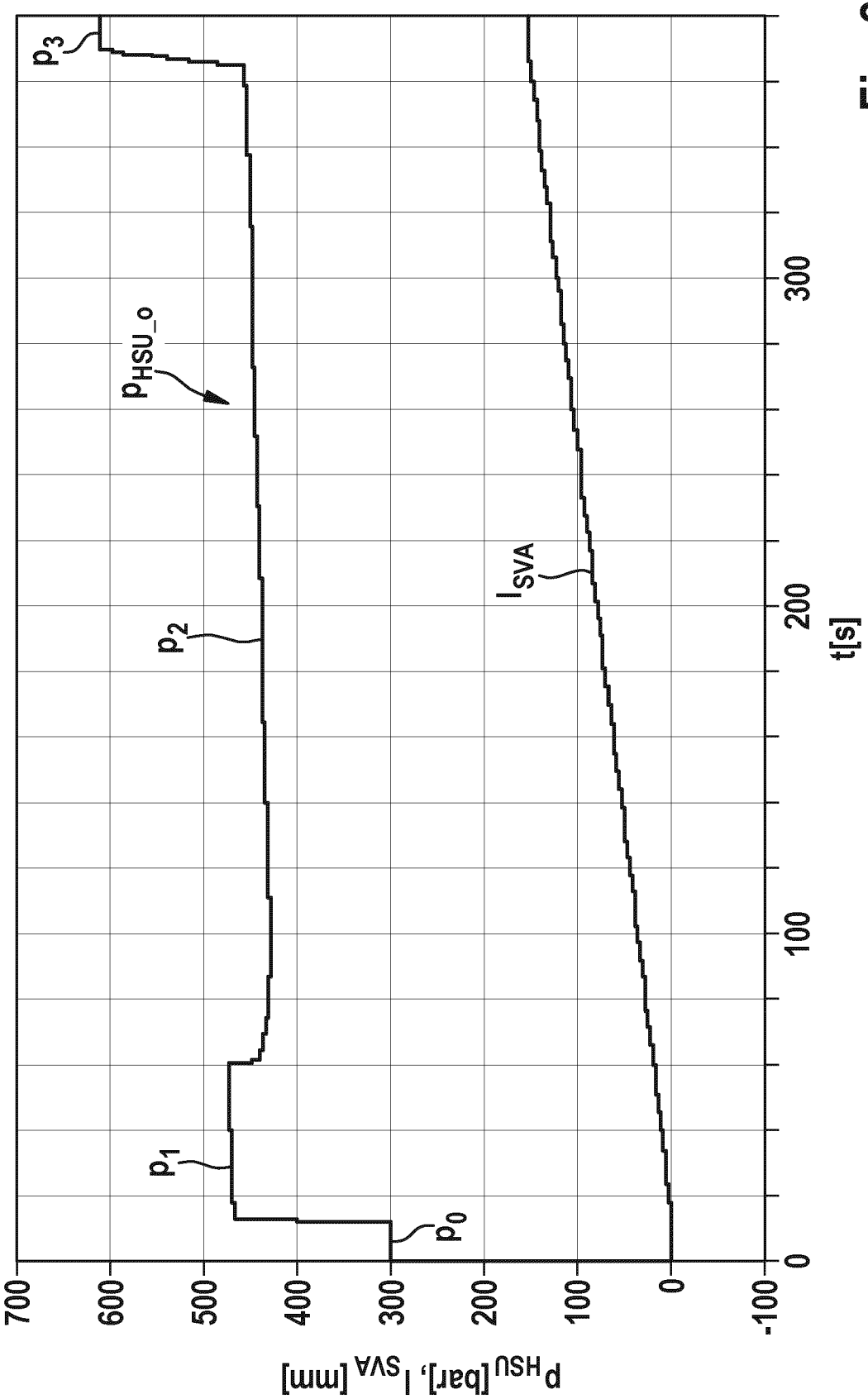
p3
pHSU_o
p2
p1
p0
ISVA
700
600
500
400
300
200
100
0
-100
0
100
200
300
t[s]
pHSU[bar], ISVA[mm]

Fig. 3a

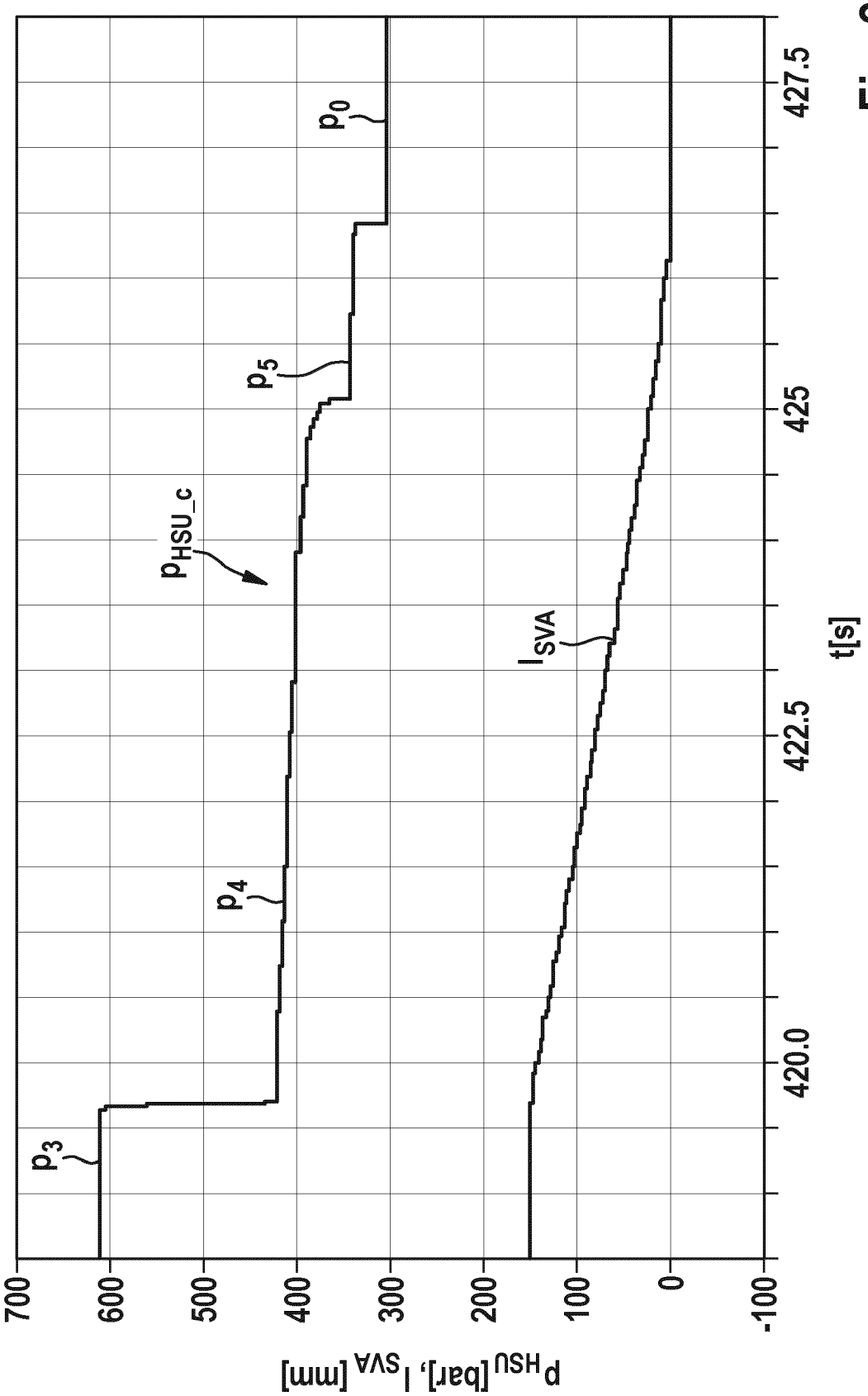
700
600
500
400
300
200
100
0
-100
p_{HSU}[bar], l_{SVA} [mm]
420.0
422.5
425
427.5
t[s]
p_3
p_4
p_{HSU_c}
p_5
p_0
l_{SVA}

Fig. 3b

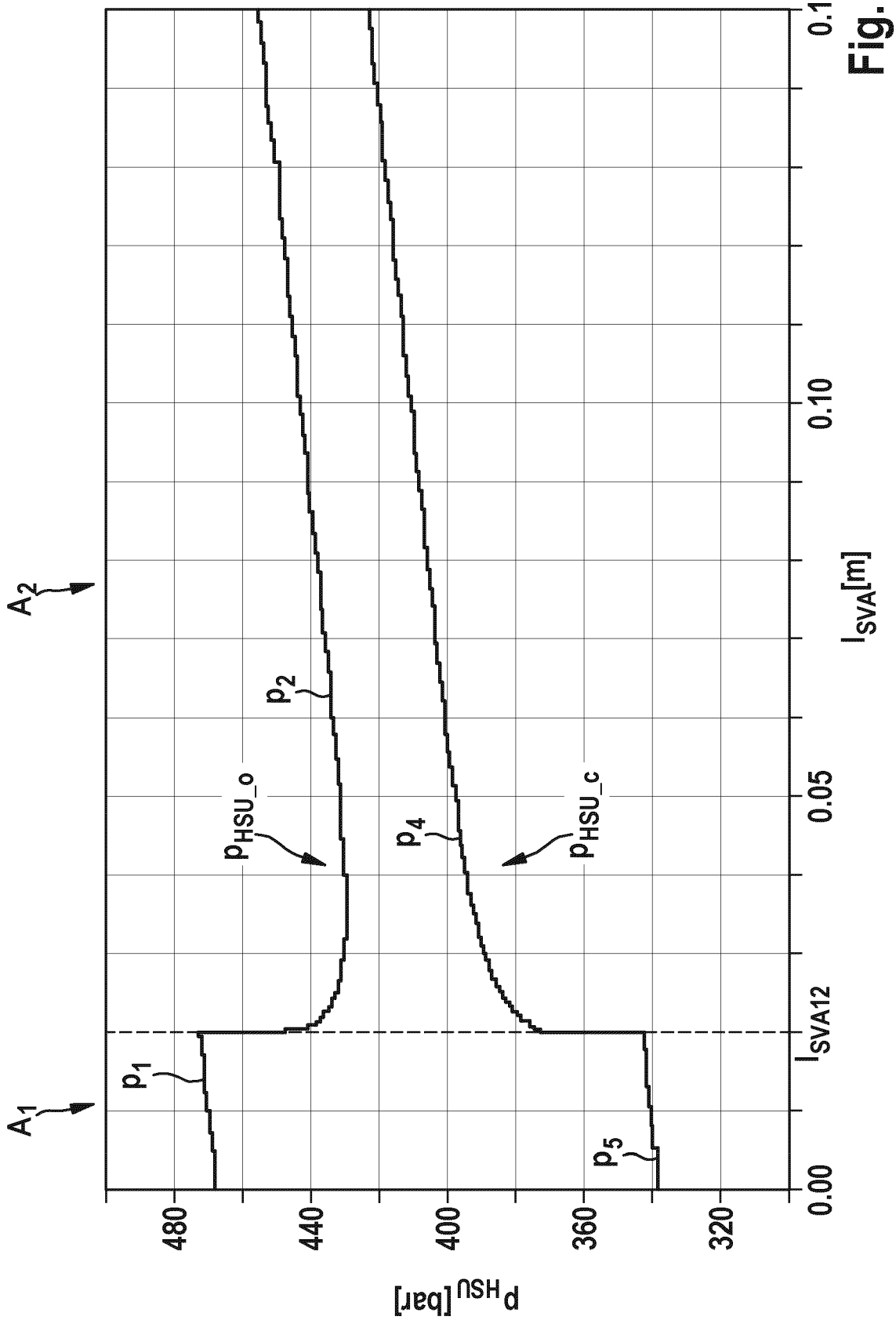
A1
A2
p1
p2
p4
p5
pHSU_o
pHSU_c
lSVA12
lSVA[m]
pHSU[bar]
0.00
0.05
0.10
0.15
480
440
400
360
320

Fig. 4

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 23 20 9588

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 3 067 252 A1 (BAE SYSTEMS PLC [GB]) 14. September 2016 (2016-09-14) * Abbildungen 1-4 *	1,2, 10-14	INV. F15B15/14 F15B15/18 F15B15/28 F15B19/00
X	EP 2 725 241 A1 (MOOG GMBH [DE]) 30. April 2014 (2014-04-30) * Abbildung 2 *	1-3,8, 10-14	
X A	EP 2 417 364 B1 (FESTO AG & CO KG [DE]) 20. März 2013 (2013-03-20) * Abbildung 1 *	1-3,8, 10-14 4-7,9	
A	DE 10 2022 201228 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 10. August 2023 (2023-08-10) * Abbildung 2 *	1-14	

RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
F15B

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt

Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München	9. April 2024	Bindreiff, Romain

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 : nichtschriftliche 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

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR. EP 23 20 9588

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.

09-04-2024

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 3067252 A1	14-09-2016	KEINE	
EP 2725241 A1	30-04-2014	CN 103790894 A	14-05-2014
		EP 2725241 A1	30-04-2014
EP 2417364 B1	20-03-2013	CN 102483079 A	30-05-2012
		DE 102009023168 A1	02-12-2010
		EP 2417364 A1	15-02-2012
		WO 2010136131 A1	02-12-2010
DE 102022201228 A1	10-08-2023	DE 102022201228 A1	10-08-2023
		WO 2023148217 A1	10-08-2023

EPO FORM P0461

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