(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
26. April 2012 (26.04.2012)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/051983 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
*F16D 48/06* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2011/001763

(22) Internationales Anmeldedatum:
22. September 2011 (22.09.2011)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2010 049 039.3
21. Oktober 2010 (21.10.2010) DE
10 2011 014 929.5 24. März 2011 (24.03.2011) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **SCHAEFFLER TECHNOLOGIES AG & CO. KG** [DE/DE]; Industriestrasse 1-3, 91074 Herzogenaurach (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **STEHR, Reinhard** [DE/DE]; Hauptstrasse 96, 77815 Bühl (DE). **MÜLLER, Holger** [DE/DE]; Eckstrasse 44, 67661 Kaiserslautern (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SCHAEFFLER TECHNOLOGIES AG & CO. KG**; c/o LuK GmbH & Co. KG, AT/BHL-G, Industriestr. 3, 77815 Bühl (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

WO 2012/051983 A2

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING AN ELECTRICALLY ACTUATED HYDRAULIC VALVE

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUM ANSTEUERN EINES ELEKTRISCH BETÄTIGBAREN HYDRAULIKVENTILS

(57) Abstract: The invention relates to a method for controlling an electrically actuated hydraulic valve, a control flow in the hydraulic valve being modulated to reduce unwanted hysteresis during operation of the hydraulic valve. The invention is characterized in that an expected flow-pressure characteristic curve is compared with a measured flow-pressure characteristic curve to identify unwanted hysteresis.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ansteuern eines elektrisch betätigbaren Hydraulikventils, wobei ein Ansteuerstrom des Hydraulikventils moduliert wird, um eine unerwünschte Hysterese im Betrieb des Hydraulikventils zu reduzieren. Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass eine zu erwartende Strom-Druck-Kennlinie mit einer gemessenen Strom-Druck-Kennlinie verglichen wird, um eine unerwünschte Hysterese zu erkennen.

# Verfahren zum Ansteuern eines elektrisch betätigbaren Hydraulikventils

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ansteuern eines elektrisch betätigbaren Hydraulikventils, wobei ein Ansteuerstrom des Hydraulikventils moduliert wird, um eine unerwünschte Hysterese im Betrieb des Hydraulikventils zu reduzieren.

Aus der deutschen Offenlegungsschrift DE 197 27 358 A1 ist eine Druckmittelanlage mit einem von einer Steuereinheit ansteuerbaren Ventil bekannt, wobei eine Steuergröße aus zumindest zwei Steuergrößenanteilen generiert wird, wobei der eine Steuergrößenanteil mit einer ersten Frequenz moduliert ist, der zweite Steuergrößenanteil mit einer zweiten Frequenz moduliert ist.

Aufgabe der Erfindung ist es, die Kennliniengüte beim Ansteuern von elektrisch betätigbaren Hydraulikventilen zu verbessern, und/oder, die Leckage beim Ansteuern von elektrisch betätigbaren Hydraulikventilen zu verringern.

Die Aufgabe ist bei einem Verfahren zum Ansteuern eines elektrisch betätigbaren Hydraulikventils, wobei ein Ansteuerstrom des Hydraulikventils moduliert wird, um eine unerwünschte Hysterese im Betrieb des Hydraulikventils zu reduzieren, dadurch gelöst, dass eine zu erwartende Strom-Druck-Kennlinie mit einer gemessenen Strom-Druck-Kennlinie verglichen wird, um eine unerwünschte Hysterese zu erkennen. Der Strom kann zum Beispiel beim Ansteuern des Hydraulikventils erfasst werden. Der Druck kann mit einem Drucksensor erfasst werden. Der Druck kann vorteilhaft mit einem bereits vorhandenen Drucksensor erfasst werden. Bei dem Ventil handelt es sich vorzugsweise um ein Stetigventil. Als Stetigventil wird ein Ventil bezeichnet, bei dem die Ausgangsgröße proportional zum Eingangssignal ist. Daher werden Stetigventile auch als Proportionalventile bezeichnet.

Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass eine Überlagerung des Ansteuerstroms des Hydraulikventils momentan erhöht wird, wenn durch den Vergleich der zu erwartenden Strom-Druck-Kennlinie mit der gemessenen Strom-Druck-Kennlinie eine unerwünschte Hysterese erkannt wurde. Als Überlagerung wird ein Vorgang bezeichnet, bei dem man den für einen gewünschten Druck erforderlichen Ansteuerstrom um einen Mittelwert schwanken lässt, vorzugsweise mit einer definierten Frequenz und Amplitude.

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Überlagerung des Ansteuerstroms bis zu einer Höchstgrenze erhöht wird, um die Hysterese bedarfsabhängig zu reduzieren. Die Höchstgrenze wird vorher festgelegt oder gelernt und hängt zum Beispiel von einem maximal zulässigen Ventilschieberweg ab.

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Überlagerung des Ansteuerstroms nur bei einer Veränderung eines Sollwerts auf ein Standardniveau angehoben wird. Bei dem Sollwert handelt es sich um einen Drucksollwert im Hydrauliksystem.

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Überlagerung des Ansteuerstroms in Ruhephasen des Hydraulikventils deutlich reduziert oder ganz abgeschaltet wird. Eine Ruhephase liegt zum Beispiel vor, wenn eine eingestellte Ventilschieberposition nur zu halten ist. Insbesondere bei Wegeventilen, die stromabhängig ohne Druckrückführung einen Durchflussquerschnitt freigeben, bietet es sich an, die Überlagerung nur bei einer Veränderung des Sollwerts auf das Standardniveau zu heben und in Ruhephasen, wenn die eingestellte Schieberposition nur zu halten ist, die Überlagerung deutlich zu reduzieren oder ganz abzuschalten. Eine Kontrolle des Istwerts ist hier nicht erforderlich, da es keine Rückwirkung von außen auf das Hydraulikventil gibt.

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die zu erwartende Strom-Druck-Kennlinie bei Inbetriebnahme oder im Betrieb des Hydraulikventils angelegt wird. Die zu erwartende Strom-Druck-Kennlinie wird vorzugsweise für das jeweilige Hydraulikventil aktuell gelernt.

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass ein Kennfeld Grundüberlagerung angelegt wird, das eine permanente Mindestüberlagerung des Ansteuerstroms des Hydraulikventils bereitstellt. Das Kennfeld Grundüberlagerung ist vorzugsweise eine Funktion vom Stromwert des Ansteuerstroms des Hydraulikventils und der Temperatur. Die permanente Mindestüberlagerung ist vorzugsweise bezüglich Leckagen in jedem Fall unkritisch.

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass das Hydraulikventil als Schieberventil zum Steuern und/oder Regeln eines Hydraulikdrucks ausgeführt ist. Das Schieberventil kann direkt angesteuert oder vorgesteuert sein.

Die Erfindung betrifft des Weiteren ein Hydrauliksystem mit mindestens einem Hydraulikventil, das gemäß einem vorab beschriebenen Verfahren angesteuert wird.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der verschiedene Ausführungsbeispiele im Einzelnen beschrieben sind.

Die Erfindung betrifft die Ansteuerung von elektrischen Stetigventilen zur Erzeugung hysteresearmer Kennlinien.

Allgemein verbreitet sind elektrisch betätigte Magnetventile, die das Stromsignal in einen Druck, Durchflussquerschnitt oder ähnliches umsetzen. Jedem Stromwert ist durch das Kräftegleichgewicht am Magneten idealerweise genau ein Druck, Durchfluss, oder ähnliches zugeordnet.

In der Praxis stören jedoch immer Reibkräfte zwischen bewegtem und stehendem Ventil- und Magnetteil das ideale Gleichgewicht.

Ebenfalls üblich ist es, den jeweils für den gewünschten Ausgangswert wie Druck, Durchfluss usw. erforderlichen Strom um seinen Mittelwert mit einer bestimmten Frequenz und Amplitude schwanken zu lassen. Man spricht dabei von einer Überlagerung.

Die Überlagerungsfrequenz wird so gewählt, dass die betreffenden Bauteile der Anregung ohne Resonanzproblem oder Störungen des Folgesystems (beispielsweise Kupplungsruckeln oder ähnliches) folgen können und so aufgrund der permanenten Schwingbewegung Haftreibung vermieden wird. Damit kann die Hysterese erheblich gesenkt werden, das heißt es wird sehr genau der zum Strom gehörende Ausgangswert (Druck, Durchfluss, ...) eingestellt, unabhängig davon, ob der Strom von oben oder unten angefahren wurde.

Die beschriebene Überlagerung ist nur bei ausreichender Stromamplitude wirksam. Schwergängige Schieber, etwa durch zähflüssiges Öl in den Spalten oder Verschmutzungen, erfordern eine stärkere Anregung als leichtgängige. Die Amplituden werden üblicherweise temperaturabhängig als Kennfeld abgelegt.

Leider kann eine zu starke Überlagerung auch zu Problemen führen, insbesondere dann, wenn ein besonders leichtgängiger Schieber unvorhergesehen große Wege verfährt und in

seiner Funktion als 3/2-Wegeventil den Ausgang A abwechselnd mit Systemdruck P und Tankanschluss T verbindet. In diesem Fall wird periodisch Druckmedium nach A geführt und von dort wieder zum Tank T abgelassen: das Ventil hat also eine erhöhte Leckage.

Auch ohne direktes Öffnen der Steuerkanten erhöht sich durch die Schieberschwingung die Leckage schon moderat, weil die Dichtlängen/Überdeckungslängen jeweils periodisch verringert sind.

Die Überlagerungsamplitude kann nur als Kompromiss zwischen guter Hysterese einerseits und geringer Leckage andererseits festgelegt werden und ist infolge von Streuungen und Schwankungen der Ventileigenschaften stets ein suboptimaler Kompromiss.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, die Kennliniengüte (Hysterese, Reproduzierbarkeit) zu optimieren, ohne die Leckage des Ventils pauschal zu verschlechtern.

Meistens wird der Ausgangswert des Ventils, zum Beispiel ein Kupplungsdruck nach einem 3/2-Wege-Druckminderventil ohnehin mittels eines Drucksensors überwacht und auf Plausibilität geprüft. Dieses Drucksignal soll erfindungsgemäß dazu verwendet werden, durch ständigen Vergleich zwischen der erwarteten Strom-Druck-Kennlinie (die im Betrieb oder bei der Inbetriebnahme gelernt wurde) und der gemessenen eine etwaige Hysterese zu entdecken und diese durch momentane Erhöhung der Überlagerungsamplituden zu bekämpfen.

Dazu könnte ein Kennfeld für die Grundüberlagerung als Funktion f (Stromwert, Temperatur) angelegt werden, das eine permanente Mindestüberlagerung bereitstellt, die bezüglich Leckagen in jedem Falle unkritisch ist. Abhängig von der Größe der Soll-Ist-Abweichung könnte die Elektronik die Amplitude bis zu einer festlegbaren Höchstgrenze erhöhen, um die Hysterese zu bekämpfen.

Insbesondere bei Wegeventilen, die stromabhängig ohne Druckrückführung einen Durchflussquerschnitt freigeben, bietet es sich dagegen an, die Überlagerung nur bei einer Veränderung des Sollwerts auf Standardniveau zu heben und in Ruhephasen, wenn die eingestellte Schieberposition nur zu halten ist, die Überlagerung deutlich zu reduzieren oder ganz abzuschalten. Eine Kontrolle des Istwertes ist hier nicht erforderlich, da es ja keine Rückwirkung von außen auf das Ventil (Druckrückführung) gibt. Ein herkömmliches Schieberventil (direkt- oder vorgesteuert) wird nur dann mit einer stärkeren Überlagerung angesteuert, wenn die Elektronik mit-

hilfe des ohnehin meist vorhandenen Drucksensors eine Abweichung von der erwarteten Funktion feststellt.

Durch Detektion der Soll-Ist-Abweichung von Stetigventilen wie Druckminderventilen kann mittels der Erfindung die Überlagerungsamplitude bedarfsgerecht angehoben werden, so dass keine unnötige Leckageerhöhung resultiert. Bei reinen Wegeventilen kann die Überlagerung in Ruhephasen ohne Sollwertgradient gesenkt oder abgeschaltet werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Ansteuern eines elektrisch betätigbaren Hydraulikventils, wobei ein Ansteuerstrom des Hydraulikventils moduliert wird, um eine unerwünschte Hysterese im Betrieb des Hydraulikventils zu reduzieren, dadurch gekennzeichnet, dass eine zu erwartende Strom-Druck-Kennlinie mit einer gemessenen Strom-Druck-Kennlinie verglichen wird, um eine unerwünschte Hysterese zu erkennen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Überlagerung des Ansteuerstroms des Hydraulikventils momentan erhöht wird, wenn durch den Vergleich der zu erwartenden Strom-Druck-Kennlinie mit der gemessenen Strom-Druck-Kennlinie eine unerwünschte Hysterese erkannt wurde.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Überlagerung des Ansteuerstroms bis zu einer Höchstgrenze erhöht wird, um die Hysterese bedarfsabhängig zu reduzieren.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Überlagerung des Ansteuerstroms nur bei einer Veränderung eines Sollwerts auf ein Standardniveau angehoben wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Überlagerung des Ansteuerstroms in Ruhephasen des Hydraulikventils deutlich reduziert oder ganz abgeschaltet wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zu erwartende Strom-Druck-Kennlinie bei Inbetriebnahme oder im Betrieb des Hydraulikventils angelegt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Kennfeld Grundüberlagerung angelegt wird, das eine permanente Mindestüberlagerung des Ansteuerstroms des Hydraulikventils bereitstellt.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Hydraulikventil als Schieberventil zum Steuern und/oder Regeln eines Hydraulikdrucks ausgeführt ist.

9. Hydrauliksystem mit mindestens einem Hydraulikventil, das gemäß einem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche angesteuert wird.