



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
23.06.2021 Patentblatt 2021/25

(51) Int Cl.:
F04B 1/32 (2020.01) **F04B 1/324 (2020.01)**
F04B 1/26 (2006.01) **F04B 49/20 (2006.01)**
F04B 49/06 (2006.01) **F03C 1/06 (2006.01)**
F03C 1/26 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **20213692.5**

(22) Anmeldetag: **14.12.2020**

(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
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME KH MA MD TN

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

(72) Erfinder:
• **Wahler, Matthias**
97828 Altfeld (DE)
• **Sendelbach, Thomas**
97816 Lohr (DE)
• **Beck, Sebastian**
97456 Dittelbrunn (DE)

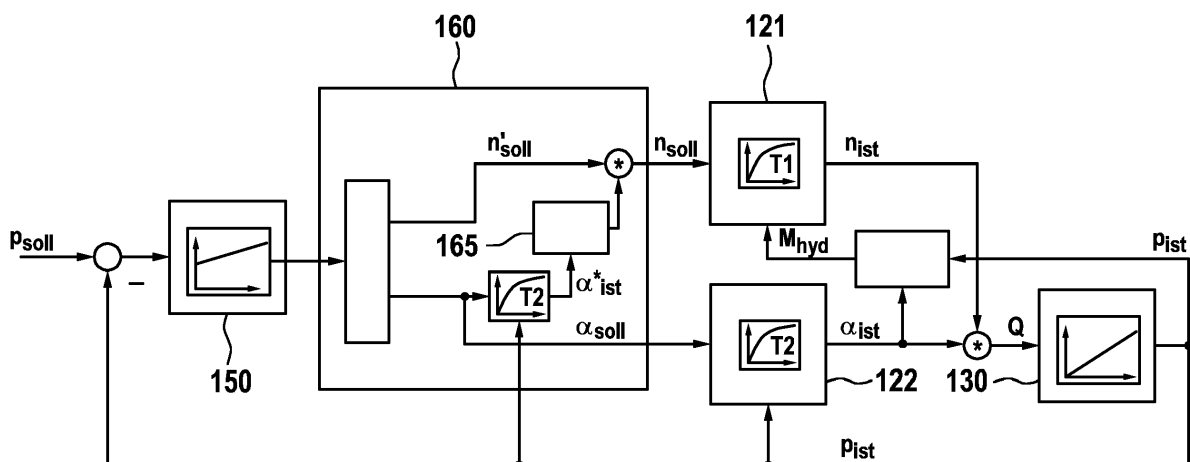
(30) Priorität: **20.12.2019 DE 102019220322**

(54) **VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER DREHZAHLVARIABLEN VERSTELLPUMPE**

(57) Verfahren zum Betreiben einer drehzahlvariablen Verstellpumpe (120), bei der ein in einem Verdrängervolumen je Arbeitsspiel verstellbares Förderwerk (122) mittels eines drehzahlvariablen Antriebs (121) angetrieben wird, wobei im Rahmen einer Regelung wenigstens eine Größe durch Vorgabe eines Drehzahlsollwerts (n_{soll}) für eine Drehzahl des Antriebs und eines Sollwerts (α_{soll}) für eine das Verdrängervolumen je Ar-

beitsspiel bestimmende Kenngröße auf einen Sollwert (p_{soll}) geregelt werden, wobei der Drehzahlsollwert (n_{soll}) bei einer Änderung des Sollwerts (α_{soll}) für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße im Wege einer Vorsteuerung in Abhängigkeit von einer aktuellen Geschwindigkeit einer Verstellung des Förderwerks (122) angepasst wird.

Fig. 2



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer drehzahlvariablen Verstellpumpe, bei der ein in einem Verdrängervolumen je Arbeitsspiel verstellbares Förderwerk mittels eines drehzahlvariablen Antriebs angetrieben wird, sowie ein elektrohydraulisches System.

Stand der Technik

[0002] Der Erfindung zugrunde liegende Pumpen weisen ein Förderwerk mit variablem Verdrängervolumen pro Arbeitsspiel (sog. hydraulische Verdrängermaschine, z.B. Axialkolbenmaschine) auf, welches mittels eines Antriebs mit variabler Drehzahl angetrieben wird. Beim Betrieb solcher Pumpen werden üblicherweise der Volumenstrom und/oder der Förderdruck (d.h. Druckdifferenz zwischen Zulauf und Ablauf) durch entsprechende Anpassung des Verdrängervolumens des Förderwerks und der Drehzahl geregelt, d.h. solche Pumpen besitzen zwei Freiheitsgrade bei der Regelung.

[0003] Aus der EP 2 192 309 B1 ist beispielsweise ein Verfahren bekannt, bei dem eine solche Pumpe betrieben wird, indem ein Druck bzw. eine Druckmittelmenge durch Ansteuern der Volumeneinstellung der Pumpe geregelt wird. Dabei wird eine Drehzahlabweichung des Antriebs berücksichtigt.

Offenbarung der Erfindung

[0004] Erfindungsgemäß werden ein Verfahren und ein elektrohydraulisches System mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vorgeschlagen. Vorteilhaft ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

[0005] Die Erfindung beschäftigt sich mit dem Betreiben einer drehzahlvariablen Verstellpumpe wie insbesondere einer Axialkolbenpumpe mit z.B. Zweipunktverstellung oder Proportionalverstellung, bei der ein in einem Verdrängervolumen je Arbeitsspiel verstellbares Förderwerk mittels eines drehzahlvariablen Antriebs wie z.B. eines Elektromotors angetrieben wird. Zur Verstellung des Förderwerks kann bei einer solchen Verstellpumpe z.B. eine sog. Schwenkscheibe vorgesehen sein.

[0006] Beim Betrieb einer solchen Verstellpumpe wird in aller Regel im Rahmen einer Regelung wenigstens eine Größe, wie z.B. ein Druck, durch Vorgabe eines Drehzahlsollwerts für eine Drehzahl des Antriebs und eines Sollwerts für eine das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße auf einen Sollwert (der wenigstens einen Größe) geregelt.

[0007] Bevorzugt ist die wenigstens eine Größe ausgewählt aus einem Druck und/oder einem Volumenstrom eines Mediums wie z.B. Öl, mit dem die Verstellpumpe betrieben wird (bzw. das als Betriebsmedium verwendet wird), einer Kraft, die direkt oder indirekt durch das Medium erzeugt wird, und einer Position eines Elements,

das direkt oder indirekt durch das Medium bewegt wird. Insbesondere Kraft und Position können sich nicht nur auf das System mit Verstellpumpe und Antrieb, sondern auch auf ein übergeordnetes System beziehen, in dem die Verstellpumpe mit dem Antrieb verwendet wird, z.B. eine elektrohydraulische Achse oder allgemein ein elektrohydraulisches System.

[0008] Bei der das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmenden Kenngröße kann es sich - z.B. im Falle der erwähnten Axialkolbenpumpe mit Schwenkscheibe - um einen Schwenkwinkel handeln. Eine Verstellung des Schwenkwinkels bewirkt in diesem Beispiel durch eine Veränderung des Anstellwinkels der Schwenkscheibe eine Änderung des Hubs der einzelnen Kolben im Förderwerk der Pumpe und damit des Verdrängervolumens je Arbeitsspiel.

[0009] Es hat sich gezeigt, dass je nach Situation der Betrieb der Verstellpumpe mit einem bestimmten, insbesondere geringen, Verdrängervolumen je Arbeitsspiel zweckmäßig und insbesondere energieeffizient ist. Dies basiert darauf, dass - zumindest bei konstantem Druck - das nötige Drehmoment sinkt. Wird nun während des Betriebs der Bedarf nach einer Veränderung bzw. Anpassung des Verdrängervolumen je Arbeitsspiel - über die entsprechende Kenngröße wie den Schwenkwinkel - erkannt und veranlasst, so ist eine Nachregelung der Drehzahl nötig, um - wie oftmals erwünscht - die (übergeordnet) zu regelnde wenigstens eine Größe wie den Druck (möglichst) konstant zu halten.

[0010] Es hat sich nun jedoch herausgestellt, dass eine solche Veränderung bzw. Anpassung des Verdrängervolumens je Arbeitsspiel Rückwirkungen auf die (übergeordnete) zu regelnde Größe bzw. deren Istwert hat, sodass hier eine Nachregelung dieser wenigstens eine Größe nötig wird bzw. der entsprechende Regler eingreifen muss. Dies liegt, wie erkannt wurde, darin begründet, dass die Drehzahldynamik des Antriebs meist nicht gut genug ist, um die Verstellung des Verdrängervolumens je Arbeitsspiel entsprechend schnell auszugleichen, was z.B. zu einem Druckeinbruch führen kann.

[0011] Im Rahmen der Erfindung wird nun vorgeschlagen, dass der Drehzahlsollwert (und vorzugsweise auch ein Momentensollwert) bei einer Änderung des Sollwerts für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße im Wege einer Vorsteuerung in Abhängigkeit von einer Dynamik bzw. Geschwindigkeit einer Verstellung des Förderwerks, insbesondere auch arbeitspunktabhängig, angepasst wird. Durch diese insbesondere parallel zur Veränderung bzw. Anpassung des Verdrängervolumens je Arbeitsspiel erfolgende Vorsteuerung des Drehzahlsollwerts kann eine Nachregelung der Drehzahl und somit auch eine etwaiger Druckeinbruch verhindert werden. Der (übergeordnete) Regler muss also gar nicht eingreifen, vielmehr bleibt die betreffende wenigstens eine Größe konstant. Dies ist besonders effektiv, wenn eine Veränderung bzw. Anpassung der Drehzahl des Antriebs schneller erfolgt bzw. erfolgen kann als eine Veränderung bzw. Anpassung des Ver-

drängervolumens je Arbeitsspiel.

[0012] Die Vorgabe des Drehzahlsollwerts und/oder die Anpassung des Drehzahlsollwerts und/oder die Vorgabe des Sollwerts für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße erfolgt vorzugsweise unter Verwendung eines Modells, in dem die Geschwindigkeit der Verstellung des Förderwerks berücksichtigt wird, und besonders bevorzugt unter Verwendung einer modellprädiktiven Regelung (mit einem solchen Modell). Eine modellprädiktive Regelung (engl. "Model Predictive Control", MPC) ermöglicht eine besonders einfache und genaue und damit auch effiziente Regelung, insbesondere deshalb, da das nichtlineare Verhalten des hier vorliegenden elektrohydraulischen Systems mit Verstellpumpe und Antrieb besonders gut abgebildet werden kann.

[0013] Die modellprädiktive Regelung ist ein Regelungskonzept, welches bereits Anwendung in der Industrie findet. Durch die Prädiktion des zukünftigen Systemverhaltens in jedem Abtastschritt, d.h. einem bestimmten Zeitintervall, wird eine sehr hohe Regelungsgüte erzielt. Im Gegensatz zu klassischen Regelungskonzepten können Eingangs-, Ausgangs- und Zustandsbeschränkungen explizit berücksichtigt werden. Die Auswirkung einer Veränderung der Reglerparameter auf das Systemverhalten ist zumeist sehr intuitiv. Zur Realisierung des rechenaufwendigen Regelungskonzeptes für schnelle mechatronische Systeme können Ansätze wie das Move-Blocking zur Reduktion der Optimierungsparameter auf dem Prädiktionshorizont, oder weitere Ansätze wie die explizite modellprädiktive Regelung verwendet werden.

[0014] In dem erwähnten Modell wird die Geschwindigkeit der Verstellung des Förderwerks bevorzugt unter Verwendung wenigstens einer der folgenden Parameter berücksichtigt: einem maximal möglichen Verdrängervolumen je Arbeitsspiel, einem minimal möglichen Verdrängervolumen je Arbeitsspiel, einem Druck eines Mediums, mit dem die Verstellpumpe betrieben wird, einem Istwert der Drehzahl des Antriebs, einer Viskosität des Mediums, und mechanische und/oder elektrische Parameter eines Verstellsystems der Verstellpumpe. Das maximal und das minimal mögliche Verdrängervolumen je Arbeitsspiel können auch als ein Quotient berücksichtigt werden.

[0015] Diese Parameter beeinflussen, typischerweise in verschiedenem Maße, die Geschwindigkeit der Verstellung des Förderwerks, d.h. wie schnell oder langsam die Verstellung nach Ansteuerung erfolgen wird. Je nach aktueller Geschwindigkeit der Verstellung des Förderwerks - im Falle einer Axialkolbenpumpe mit Schwenkscheibe auch als Schwenkwinkelgeschwindigkeit bezeichnet - wird eine Umsetzung einer Veränderung des Verdrängervolumens je Arbeitsspiel schneller oder langsamer erfolgen, was auch Einfluss auf die Angleichung der Drehzahl des Antriebs hat. Bei langsamer Verstellung des Verdrängervolumens je Arbeitsspiel - also geringer Dynamik bzw. Geschwindigkeit - ist beispielsweise eine geringere oder geringer ansteigende Vorsteuerung

der Drehzahl nötig als bei hoher Geschwindigkeit.

[0016] In dem erwähnten Modell wird die Geschwindigkeit der Verstellung des Förderwerks bevorzugt als modellierter Istwert für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße berücksichtigt. Aus diesem modellierten Istwert kann insbesondere ein Drehzahlkorrekturwert (z.B. ein additiver Drehzahlwert) zur Anpassung des Drehzahlsollwerts bestimmt werden.

[0017] Vorzugsweise wird der Drehzahlsollwert bei einer Änderung des Sollwerts für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße weiterhin in Abhängigkeit von wenigstens einem Optimierungskriterium angepasst, das insbesondere ausgewählt ist aus: einem von der Verstellpumpe erzeugten Geräusch, einer Effizienz der Verstellpumpe, und einer Auslastung des Antriebs. Hiermit lässt sich der Betrieb weiter optimieren, insbesondere wenn die Pumpe in Teillast betrieben wird.

[0018] Je nachdem ob nun z.B. ein Aus- oder Einschwenkvorgang der Verstellpumpe (bzw. der Schwenkscheibe) eingeleitet werden soll, wird zweckmäßigerweise abhängig von der Schwenkrichtung (d.h. in Richtung höheres oder geringeres Verdrängervolumen), Systemparametern, sonstigen Komponentenparametern und/oder aktuellen Zuständen des (elektrohydraulischen) Systems eine Soll-Trajektorie für die Drehzahl und das notwendige Veränderungs Drehmoment ermittelt. Gleichzeitig wird dann insbesondere das sich verändernde hydraulische Moment z.B. abhängig vom aktuellen Druck und einem Modell der Änderung des Förder volumens der Pumpe, direkt vorgesteuert.

[0019] Zusätzlich zum Vorsteuern der Drehzahl ist vorzugsweise vorgesehen, dass auch ein Momentensollwert für den Antrieb bei einer Änderung des Sollwerts für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße im Wege einer Vorsteuerung in Abhängigkeit von einer Dynamik bzw. Geschwindigkeit einer Verstellung des Förderwerks, insbesondere auch arbeitspunktabhängig, angepasst wird. Insbesondere kann hier ein Produkt aus dem modellierten Istwert für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße und dem Istdruck einfließen, d.h. insbesondere ein modellierter Wert für ein hydraulisches Moment wird vorgesteuert. Die oben dargestellten Punkte gelten dann ebenso für die Momentenvorsteuerung. Das Vorsteuern eines Momentenwerts ist insbesondere vorteilhaft, wenn beim Betrieb eines elektrischen Antriebs dem Drehzahlregler ein Drehmomentregler unterlagert ist.

[0020] Eine erfindungsgemäße Recheneinheit, z.B. eine Steuer- und/oder Regeleinheit für eine drehzahlvariable Verstellpumpe mit drehzahlvariablem Antrieb, ist, insbesondere programmtechnisch, dazu eingerichtet, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen.

[0021] Gegenstand der Erfindung ist weiterhin ein elektrohydraulisches Antriebssystem wie z.B. eine elektrohydraulische Achse umfassend eine drehzahlvariablen Verstellpumpe mit einem drehzahlvariablen Antrieb sowie eine erfindungsgemäße Recheneinheit.

[0022] Auch die Implementierung eines erfindungsge-

mäßigen 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.

[0023] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der beiliegenden Zeichnung.

[0024] 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.

[0025] Die Erfindung ist anhand eines Ausführungsbeispiels in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnung ausführlich beschrieben.

Figurenbeschreibung

[0026]

- Figur 1 zeigt schematisch ein elektrohydraulisches System, das erfindungsgemäß betrieben werden kann.
- Figur 2 zeigt schematisch einen Ablauf eines erfindungsgemäßen Verfahrens einer bevorzugten Ausführungsform als Regelkreis.
- Figur 3 zeigt schematisch einen Ablauf eines erfindungsgemäßen Verfahrens einer weiteren bevorzugten Ausführungsform als Regelkreis.

Detaillierte Beschreibung der Zeichnung

[0027] In Figur 1 ist ein elektrohydraulisches System 100, wie es der Erfindung zugrunde liegen kann, schematisch dargestellt. Das elektrohydraulische System 100 weist einen als Hydraulikzylinder 110 mit einem entlang einer x-Achse beweglichen Kolben 111 ausgebildeten Aktor auf, der von einer drehzahlvariablen Verstellpumpe 120 betätigt wird. Zwischen der drehzahlvariablen Verstellpumpe 120 und dem Hydraulikzylinder 110 ist ein Hydraulikkreislauf 130 mit z.B. Öl als Medium bzw. Betriebsmedium angeordnet.

[0028] Die drehzahlvariable Verstellpumpe 120 weist einen als Elektromotor 121 ausgebildeten drehzahlvariablen Antrieb und ein Förderwerk 122 auf und ist insbe-

sondere als Axialkolbenpumpe in Schwenkscheibenbauweise ausgebildet. Durch Verstellung des Winkels der Schwenkscheibe, also des sog. Schwenkwinkels, kann das Verdrängervolumen des Förderwerks je Arbeitsspiel verändert werden.

[0029] Eine Steuer- und/oder Regeleinheit 140 ist programmtechnisch zur Durchführung einer bevorzugten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens eingerichtet und gibt einen Drehzahlsollwert n_{soll} sowie einen Schwenkwinkelsollwert α_{soll} als einen Sollwert für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße vor. Zur Regelung der Stellgrößen ist jeweils eine Rückführung der Istwerte n_{ist} sowie α_{ist} vorgesehen. Dies kann z.B. unter Einsatz herkömmlicher Sensoren bewerkstelligt werden.

[0030] In Figur 2 ist ein Regelkreis gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung bzw. eines erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt, wie er programmtechnisch in einer Steuer- und/oder Regeleinheit implementiert sein kann. Dabei wird beispielhaft in einem (überlagerten) Regelkreis ein Druck p_{ist} in einem Hydraulikkreislauf 130, wie er z.B. in Figur 1 gezeigt ist, auf einen Sollwert p_{soll} geregelt.

[0031] Hierzu werden als Stellgrößen von einem hier als PI-Regler 150 ausgebildeten Regler ein Drehzahlsollwert n'_{soll} bzw. n_{soll} (auf den Unterschied zwischen diesen Sollwerten wird später eingegangen) für eine Drehzahl des Antriebs 121 und ein Sollwert α_{soll} für einen Schwenkwinkel als die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße ermittelt bzw. vorgegeben. Diese Sollwerte für Drehzahl und Schwenkwinkel werden dann entsprechend im Antrieb 121 bzw. im Förderwerk 122 umgesetzt. Antrieb 121 und Schwenkwinkelverstellung des Förderwerks 122 reagieren auf die Sollvorgaben üblicherweise gemäß einem PT1-Verhalten mit entsprechenden Zeitkonstanten T_1 bzw. T_2 . Dabei erhaltene Istwerte, ein Drehzahlwert n_{ist} und ein Schwenkwinkelwert α_{ist} , ergeben dann einen Volumenstrom Q und dann im Hydraulikkreislauf 130 unter Berücksichtigung von Kompressionsfaktor und Volumen des Mediums, das komprimiert wird, den entsprechenden Istwert p_{ist} für den Druck des Mediums im Hydraulikkreislauf 130. Dies hat, über ein zu überwindendes hydraulisches Moment M_{hyd} , entsprechend auch Einfluss auf die Drehzahl des Antriebs.

[0032] Wenn nun der Schwenkwinkel bzw. allgemein das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel des Förderwerks z.B. aus Effizienzgründen verändert werden soll, so wird zugleich bzw. parallel hierzu der zunächst von dem Regler 150 ermittelte bzw. vorgegebene Drehzahlsollwert n'_{soll} in Abhängigkeit von einer aktuellen Geschwindigkeit 165 einer Verstellung des Förderwerks und im Wege einer Vorsteuerung angepasst, sodass der (angepasste) Drehzahlsollwert n_{soll} erhalten wird, der dann weiter verwendet wird. Dies erfolgt insbesondere im Rahmen einer modellprädiktiven Regelung 160 mit einem entsprechenden Modell (oftmals auch als "DigitalTwin" bezeichnet) für die Verstellpumpe.

[0033] Dabei werden insbesondere auch verschiedene Parameter berücksichtigt. Bei der Geschwindigkeit 165 kann z.B. ein Verhältnis bzw. Quotient von maximal möglichem zu minimal möglichem Schwenkwinkel (oder eines entsprechenden Quotienten der Verdrängervolumina) in die Ermittlung des angepassten Drehzahlsollwerts eingehen, das wiederum von einem aktuellen Schwenkwinkel abhängen kann, was hier - durch das Modell - als Schätzwert oder berechneter Wert α^*_{ist} berücksichtigt ist.

[0034] Ebenso kann die Art der Verstellung bzw. des Verstellsystems für den Schwenkwinkel einen Einfluss auf die Geschwindigkeit haben. So kann beispielsweise eine elektronische Schwenkwinkelverstellung vorgesehen sein, bei der mittels Strom eine Magnetkraft erzeugt wird, die einer (mechanischen) Federkraft in einem Verstellzylinder entgegenwirkt.

[0035] Auf diese Weise wird die Drehzahl zugleich mit dem Schwenkwinkel angepasst und es erfolgt keine Veränderung des Drucks im Hydraulikkreislauf 130, sodass kein Eingriff des (übergeordneten) Reglers 150 nötig ist. An dieser Stelle sei angemerkt, dass als die (übergeordnet) zu regelnde Größe anstatt des Drucks z.B. auch die Position x des Elements bzw. Kolbens 111 gemäß Figur 1 verwendet werden kann.

[0036] In Figur 3 ist ein Regelkreis gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung bzw. eines erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt, wie er programmtechnisch in einer Steuer- und/oder Regeleinheit implementiert sein kann. Dabei wird erneut beispielhaft ein Druck p_{ist} in einem Hydraulikkreislauf 130, wie er z.B. in Figur 1 gezeigt ist, auf einen Sollwert p_{soll} geregelt.

[0037] Hierzu wird als Stellgröße von einem hier ebenfalls als PI-Regler 150 ausgebildeten Regler ein Drehzahlsollwert n_{soll} für eine Drehzahl des Antriebs 121 ermittelt bzw. vorgegeben. Aus dem Drehzahlsollwert n_{soll} wird unter Berücksichtigung eines Korrektur- bzw. Vorsteuerterms Δn^* (auf diesen wird später eingegangen) durch Abzug des Drehzahlistwerts n_{ist} ein Drehzahlfehler e_n berechnet und einem Drehzahlregler 151 (hier ebenfalls als PI-Regler ausgeführt) zugeführt, der ein Sollmoment M_{soll} ausgibt und auf den Antrieb 121, der wieder mit einem PT1-Verhalten modelliert ist, einwirkt. Hieraus ergibt sich dann ein elektrisches Antriebsmoment M_A der Pumpe 120.

[0038] Ebenso wird ein Schwenkwinkel α als die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße dem Förderwerk 122, dessen Schwenkwinkelverstellung wieder mit einem PT1-Verhalten modelliert ist, vorgegeben, woraus sich der Schwenkwinkel (bzw. eine entsprechende Volumengröße) α^* ergibt.

[0039] Aus dem Antriebsmoment M_A ergibt sich unter Berücksichtigung eines zu überwindenden hydraulischen Moments M_{hyd} ein effektives Moment M_{eff} der Pumpe 120, welches auf die Drehzahl wirkt. Dabei ergibt sich das hydraulische Moment M_{hyd} wie oben als Produkt aus Volumengröße α^* und Istdruck, welches ggf. über

ein P-Glied gewichtet bzw. verstärkt werden kann.

[0040] Aus dem Produkt der Drehzahl n_{ist} und der Volumengröße α^* ergibt sich ein Volumenstrom Q , welcher ggf. über ein P-Glied gewichtet bzw. verstärkt werden kann, und dann im Hydraulikkreislauf 130 unter Berücksichtigung von Kompressionsfaktor und Volumen des Mediums, das komprimiert wird, der entsprechende Istdruck p_{ist} .

[0041] Wenn nun der Schwenkwinkel α bzw. allgemein das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel des Förderwerks z.B. aus Effizienzgründen verändert werden soll, so wird zugleich bzw. parallel hierzu der zunächst von dem Regler 150 ermittelte bzw. vorgegebene Drehzahlsollwert n_{soll} im Wege einer Vorsteuerung mit dem Korrektur- bzw. Vorsteuerterm Δn^* angepasst. Der Vorsteuerterm Δn^* wird insbesondere im Rahmen einer modellprädiktiven Regelung 160 mit einem entsprechenden Modell (oftmals auch als "DigitalTwin" bezeichnet) für die Verstellpumpe (deren Schwenkwinkelreaktion auf die Schwenkwinkelvorgabe α innerhalb des Blocks 160 mit einem PT1-Verhalten modelliert ist), ermittelt. Im vorliegenden Beispiel wird der sich hieraus ergebende modellierte Ist-Schwenkwinkel über ein P-Glied zur Gewichtung bzw. Verstärkung geführt und als additiver Drehzahlwert Δn^* auf den Drehzahlsollwert n_{soll} aufgeschaltet. Gleichzeitig wird der modellierte Ist-Schwenkwinkel (bzw. das Volumen) multipliziert mit dem Istdruck über ein P-Glied geführt und als additiver Momentenwert M^*_{hyd} auf den Momentensollwert M_{soll} aufgeschaltet.

[0042] Durch das beschriebene Schema können im Falle der Anpassung bzw. Variation einer Übersetzung (also des Schwenkwinkels) im Hydraulikkreislauf bestimmte Einflüsse berücksichtigt werden. Einer Änderung der Verstärkung des offenen Regelkreises kann durch eine Anpassung der Verstärkung k_p im Druckregler 150 begegnet werden, einer Änderung des Volumenstroms Q des Mediums durch eine Anpassung der Drehzahl der Pumpe (über Δn^*), und einer Änderung des hydraulischen Moments durch eine Anpassung des Sollmoments (über M^*_{hyd}) für den Antrieb. Dies kann entsprechend im erwähnten Modell bzw. in der modellprädiktiven Regelung berücksichtigt werden. Im Vergleich zum Beispiel aus Figur 2 wird hier also insbesondere zusätzlich das hydraulische Moment vorgesteuert.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer drehzahlvariablen Verstellpumpe (120), bei der ein in einem Verdrängervolumen je Arbeitsspiel verstellbares Förderwerk (122) mittels eines drehzahlvariablen Antriebs (121) angetrieben wird, wobei im Rahmen einer Regelung wenigstens eine Größe durch Vorgabe eines Drehzahlsollwerts (n_{soll}) für eine Drehzahl des Antriebs und eines Sollwerts (α_{soll}) für eine das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße auf einen Sollwert (p_{soll}) geregelt werden,

- wobei der Drehzahlsollwert (n_{soll}) bei einer Änderung des Sollwerts (α_{soll}) für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße im Wege einer Vorsteuerung in Abhängigkeit von einer Geschwindigkeit (165) einer Verstellung des Förderwerks (121) angepasst wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Vorgabe des Drehzahlsollwerts (n_{soll}) und/oder die Anpassung des Drehzahlsollwerts (n_{soll}) und/oder die Vorgabe des Sollwerts (α_{soll}) für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße unter Verwendung eines Modells erfolgt, in dem die Geschwindigkeit der Verstellung des Förderwerks (121) berücksichtigt wird.
 3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Vorgabe des Drehzahlsollwerts (n_{soll}) und/oder die Anpassung des Drehzahlsollwerts (n_{soll}) und/oder die Vorgabe des Sollwerts (α_{soll}) für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße unter Verwendung einer modellprädiktiven Regelung (160) erfolgt.
 4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei in dem Modell die Geschwindigkeit (165) der Verstellung des Förderwerks (121) unter Verwendung wenigstens einer der folgenden Parameter berücksichtigt wird: einem maximal möglichen Verdrängervolumen je Arbeitsspiel, einem minimal möglichen Verdrängervolumen je Arbeitsspiel, einem Druck eines Mediums, mit dem die Verstellpumpe betrieben wird, einem Istwert der Drehzahl (n_{ist}) des Antriebs, einer Viskosität des Mediums, und mechanische und/oder elektrische Parameter eines Verstellsystems der Verstellpumpe (120).
 5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die im Rahmen der Regelung wenigstens eine auf den Sollwert (p_{soll}) geregelte Größe ausgewählt ist aus: einem Druck und/oder einem Volumenstrom eines Mediums, mit dem die Verstellpumpe betrieben wird, einer Kraft, die direkt oder indirekt durch das Medium erzeugt wird, und einer Position (x) eines Elements (111), das direkt oder indirekt durch das Medium bewegt wird.
 6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Drehzahlsollwert (n_{soll}) bei einer Änderung des Sollwerts (α_{soll}) für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße weiterhin in Abhängigkeit von wenigstens einem Optimierungskriterium angepasst wird, das insbesondere ausgewählt ist aus: einem von der Verstellpumpe (120) erzeugten Geräusch, einer Effizienz der Verstellpumpe (120), und einer Auslastung des Antriebs (121).
 7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei ein Momentensollwert (M_{soll}) für den Antrieb (121) bei einer Änderung des Sollwerts (α_{soll}) für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße im Wege einer Vorsteuerung in Abhängigkeit von einer Geschwindigkeit (165) einer Verstellung des Förderwerks (121) angepasst wird.
 8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem eine Axialkolbenpumpe als Verstellpumpe (120) verwendet wird, insbesondere mit einer Zweipunktverstellung oder einer Proportionalverstellung.
 9. Recheneinheit (140), die dazu eingerichtet ist, ein Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche durchzuführen.
 10. Elektrohydraulisches System (100) umfassend eine drehzahlvariablen Verstellpumpe (120) mit einem drehzahlvariablen Antrieb (121) und eine Recheneinheit (140) nach Anspruch 9.
 11. Computerprogramm, das eine Recheneinheit (140) veranlasst, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 durchzuführen, wenn es auf der Recheneinheit (140) ausgeführt wird.
 12. Maschinenlesbares Speichermedium mit einem darauf gespeicherten Computerprogramm nach Anspruch 11.

Fig. 1

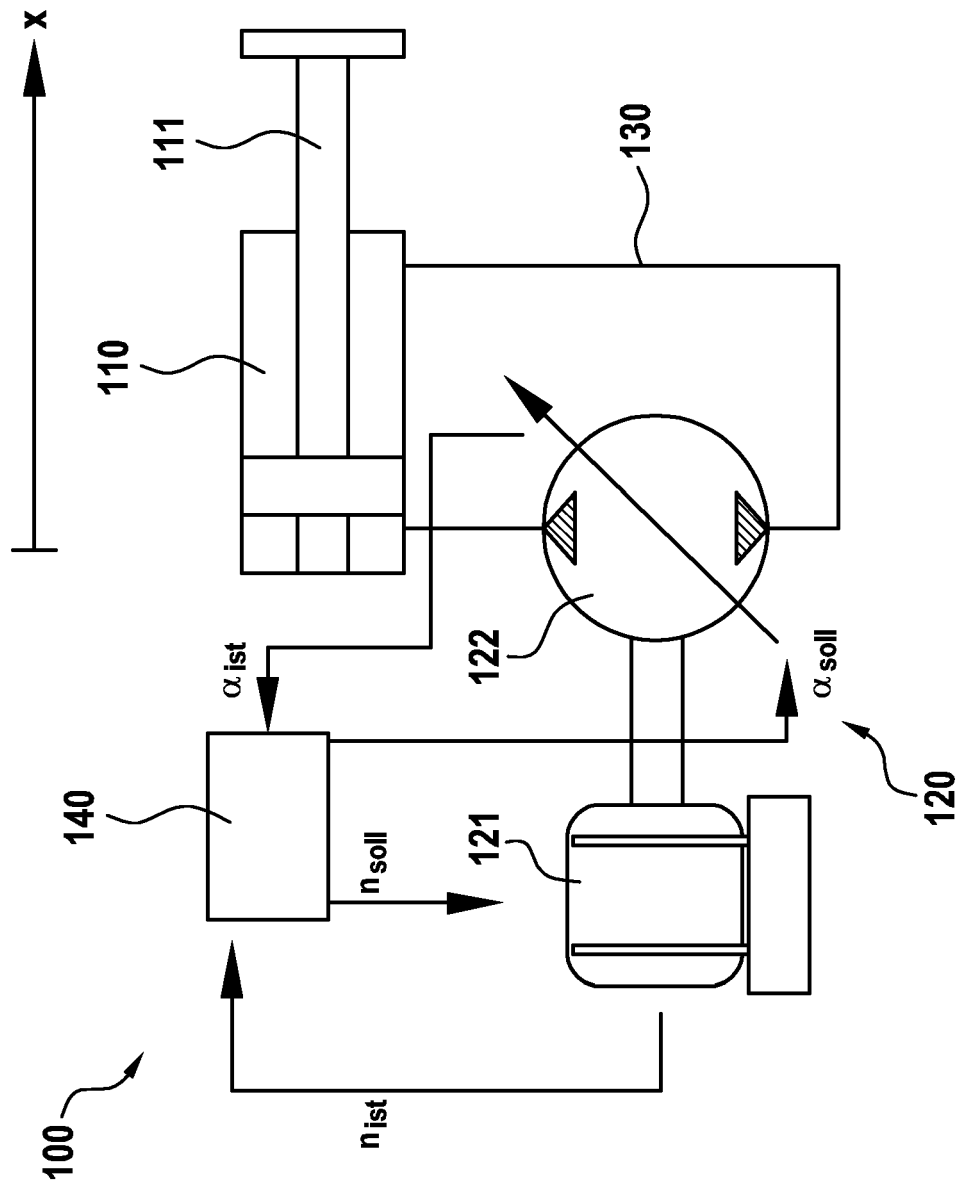


Fig. 2

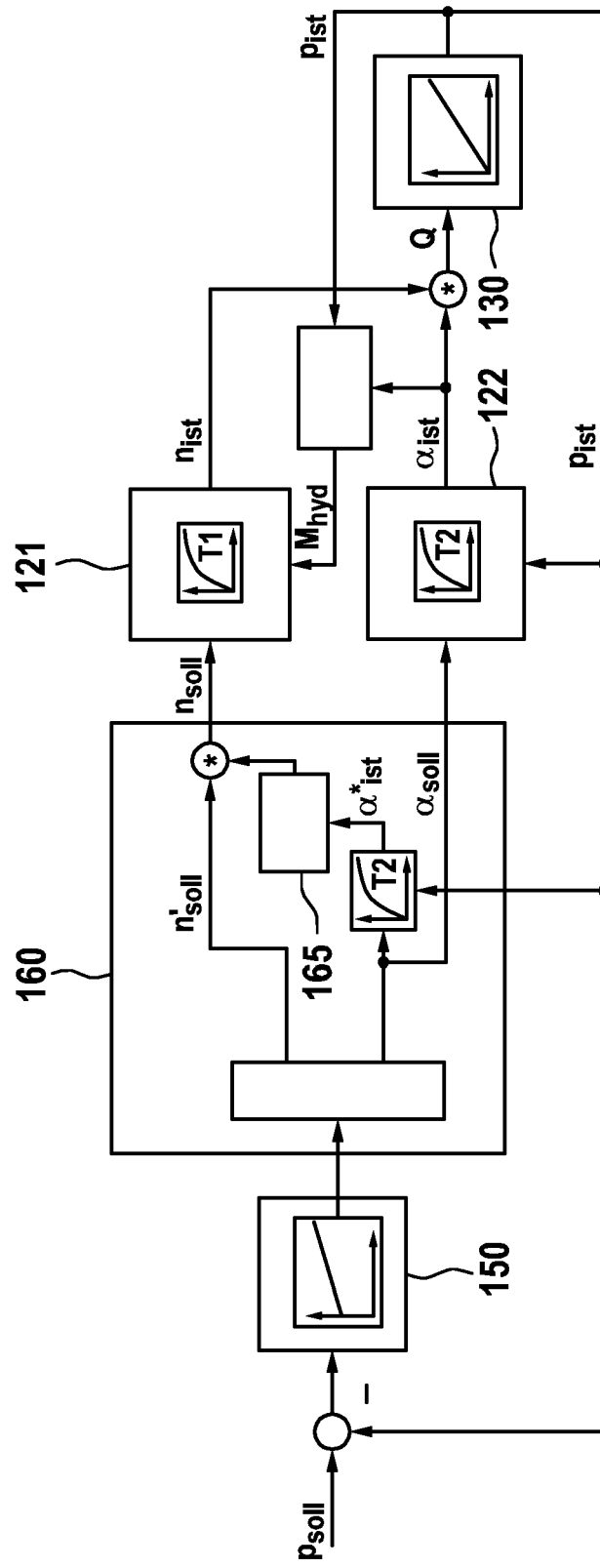
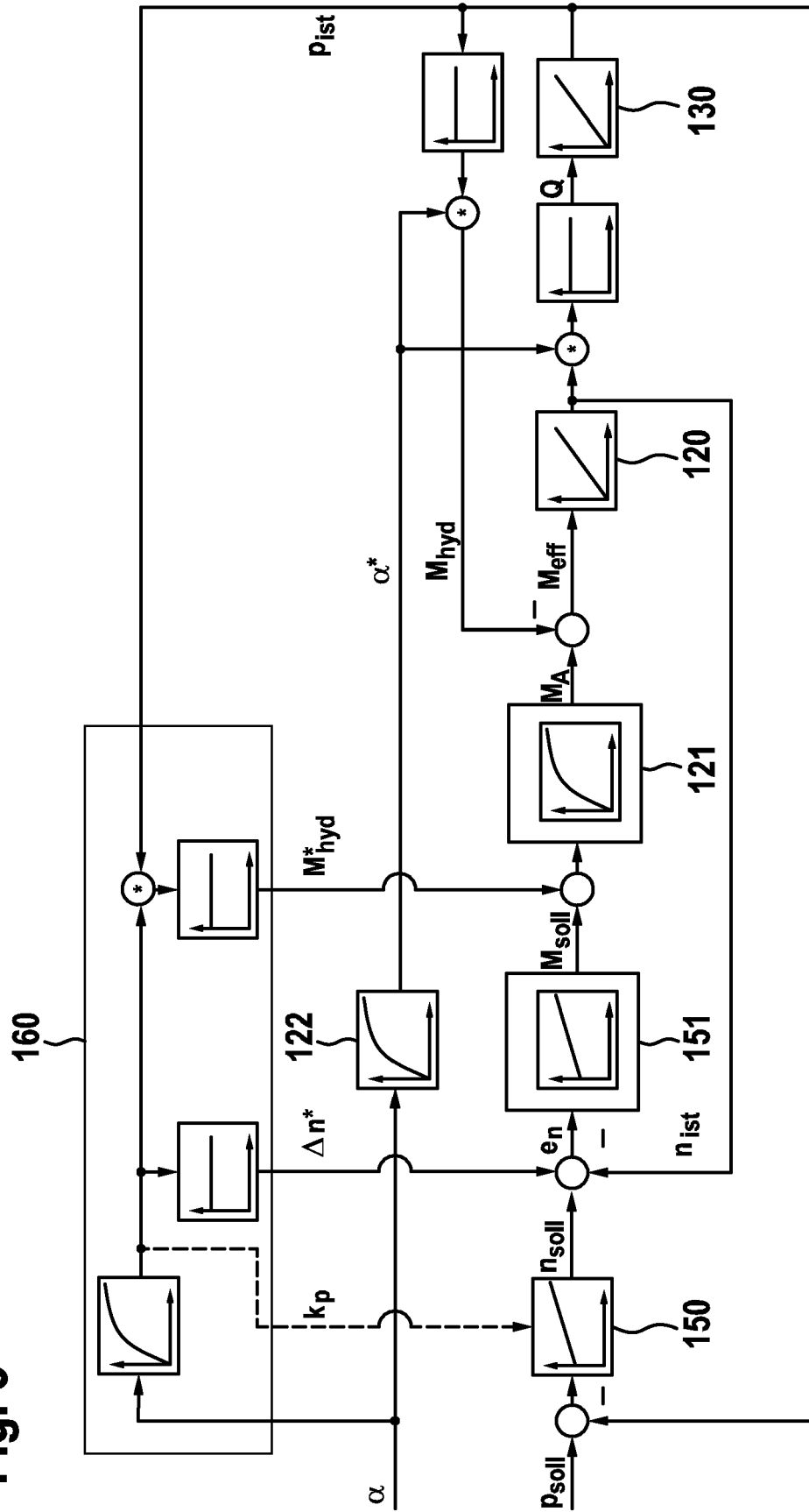


Fig. 3





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 20 21 3692

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A, D	EP 2 192 309 B1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 5. April 2017 (2017-04-05) * das ganze Dokument * -----	1-12	INV. F04B1/32 F04B1/324 F04B1/26 F04B49/20 F04B49/06 F03C1/06 F03C1/26
A	DE 10 2014 001981 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 20. August 2015 (2015-08-20) * das ganze Dokument * -----	1-12	
A	DE 10 2013 006137 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 16. Oktober 2014 (2014-10-16) * das ganze Dokument * -----	1-12	
A	DE 10 2011 119299 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 29. Mai 2013 (2013-05-29) * das ganze Dokument * -----	1-12	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 17. Februar 2021	Prüfer Olona Laglera, C
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 Patentedokument, 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	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 20 21 3692

5 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.

17-02-2021

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2192309 B1	05-04-2017	DE 102009055978 A1 EP 2192309 A2	02-06-2010 02-06-2010
DE 102014001981 A1	20-08-2015	AT 515590 A1 DE 102014001981 A1	15-10-2015 20-08-2015
DE 102013006137 A1	16-10-2014	AT 514225 A2 DE 102013006137 A1	15-11-2014 16-10-2014
DE 102011119299 A1	29-05-2013	DE 102011119299 A1 EP 2597310 A2	29-05-2013 29-05-2013

EPO FORM P0461

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

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

- EP 2192309 B1 [0003]