(19) österreichisches patentamt

(10) **AT 520164 B1 2019-08-15**

(12) # Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50581/2017
(22) Anmeldetag: 12.07.2017
(45) Veröffentlicht am: 15.08.2019

(51) Int. Cl.: ***B29C 45/82*** (2006.01)
B29C 45/76 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 19847908 C1
DE 4429304 C1
EP 0368301 A2

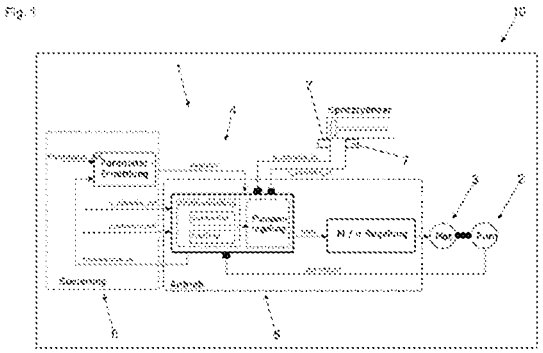
(73) Patentinhaber:
ENGEL AUSTRIA GMBH
4311 SCHWERTBERG (AT)

(72) Erfinder:
Bernhard Hannes Dipl.Ing. BA
4209 Engerwitzdorf (AT)
Kilian Friedrich Johannes Dipl.Ing. Dr.
4501 Neuhofen an der Krems (AT)

(74) Vertreter:
Mag. Dr. Paul Torggler, Dipl.-Ing. Dr. Stephan Hofinger, Mag. Dr. Markus Gangl, MMag. Dr. Christoph Maschler, Dipl.-Ing. (FH) Dr. Bernhard Hechenleitner, Dipl.-Phys. Dr. Almar Lercher
6020 Innsbruck (AT)

(54) **Hydrauliksystem für eine Formgebungsmaschine**

(57) Hydrauliksystem für eine Formgebungsmaschine mit zumindest einer Pumpe (2), zumindest einem Pumpenmotor (3), welcher zum Antreiben der zumindest einen Pumpe (2) ausgebildet ist, sowie einer Regelvorrichtung (4), welche dazu ausgebildet ist, eine Regelung des zumindest einen Pumpenmotors (3) durchzuführen, und Prozessparameter, welche bei einem mit der Formgebungsmaschine durchgeführten Formgebungsprozess auftreten, festzulegen und/oder zu berechnen und/oder über eine Schnittstelle entgegenzunehmen, wobei die Regelvorrichtung (4) dazu ausgebildet ist, ein Regelgesetz der Regelung des zumindest einen Pumpenmotors (3) auf Basis der Prozessparameter und/oder einer Phase des Formgebungszyklus auszuwählen und die Regelvorrichtung (4) einen Antriebsregler (5) zur Ansteuerung des zumindest einen Pumpenmotors (3) beinhaltet, wobei der Antriebsregler (5) dazu ausgebildet ist, eine Regelung zumindest einer Prozessgröße, welche bei einem mit der Formgebungsmaschine durchgeführten Formgebungsprozess auftritt, durchzuführen.



AT 520164 B1 2019-08-15

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Hydrauliksystem für eine Formgebungsmaschine mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1 sowie ein Verfahren zum Betreiben eines Hydrauliksystems mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 15.

[0002] Unter Formgebungsmaschinen können dabei Spritzgießmaschinen, Spritzpressen, Pressen und dergleichen verstanden werden.

[0003] Im Folgenden wird die Aufgabenstellung der Erfindung anhand des Beispiels einer Spritzgießmaschine beschrieben.

[0004] Hydraulische Spritzgießmaschinen verfügen über ein Einspritzaggregat, das durch ein Hydrauliksystem mit zumindest einer Pumpe und zumindest einem Pumpenmotor angetrieben wird.

[0005] In einer zentralen Maschinensteuerung wird eine Steuerung bzw. Regelung von Prozessgrößen (beispielsweise Position oder Geschwindigkeit einer Plastifizierschnecke) durchgeführt. Die zentrale Maschinensteuerung berechnet aus den Soll-Werten für diese Prozessgrößen Soll-Werte für beispielsweise das Drehmoment oder die Drehzahl des zumindest einen Pumpenmotors. Diese Soll-Werte werden an einen Antriebsregler weitergegeben. Der Antriebsregler ist an zumindest einem Pumpenmotor angeordnet und er beherbergt im Falle eines elektrischen Pumpenmotors die Leistungselektronik des Pumpenmotors, welche den zumindest einen Pumpenmotor entsprechend ansteuert.

[0006] Dabei entsteht ein relativ träges System, da Messwerte (beispielsweise Schmelzedruck oder Schneckenposition) zuerst an die zentrale Maschinensteuerung geliefert werden, dann die umfangreichen Berechnungen in der zentralen Maschinensteuerung durchgeführt werden, die umgerechneten Soll-Werte an den Antriebsregler des zumindest einen Pumpenmotors weitergegeben werden und schließlich die tatsächliche Regelung des zumindest einen Pumpenmotors vom Antriebsregler durchgeführt wird.

[0007] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, die Reaktionszeit dieses Systems zu verbessern.

[0008] Diese Aufgabe wird durch ein Hydrauliksystem für eine Formgebungsmaschine mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und ein Verfahren zum Betreiben eines Hydrauliksystems einer Formgebungsmaschine mit den Merkmalen des Anspruchs 15 gelöst.

[0009] Dies geschieht, indem der Antriebsregler dazu ausgebildet ist, eine Regelung zumindest einer Prozessgröße, welche bei einem mit der Formgebungsmaschine durchgeführten Formgebungsprozess auftritt, durchzuführen. Durch das Durchführen der Prozessregelung (Regelung der Prozessgrößen) direkt am Antriebsregler kann eine schnellere Reaktionszeit und damit eine genauere Regelung erreicht werden. Insbesondere wird durch eine Regelung direkt am Antriebsregler eine Datenübertragung über den Feldbus der Maschine vermieden. Der Feldbus ist zwar für die meisten Datenübertragungszwecke an der Formgebungsmaschine schnell genug. Für gewisse Formgebungsprozesse bzw. gewisse Teile von Formgebungsprozessen, insbesondere beim Einspritzen im Rahmen eines Spritzgießprozesses, ist dies jedoch nicht immer der Fall.

[0010] Dies gilt insbesondere in Zusammenwirkung mit der Auswahl des Regelgesetzes auf Basis der Prozessparameter oder einer Phase des Formgebungszyklus. Durch die genaue Anpassung des Regelgesetzes und das erfindungsgemäß verbesserte Regelungs-System entsteht die durch die Erfindung ermöglichte, besonders schnelle Reaktion und Güte der Regelung.

[0011] Die Prozessparameter dienen der Beschreibung des aktuell auf der Maschine aktiven Formgebungsprozesses oder Prozessschrittes und können zur Charakterisierung dieses verwendet werden. Diese Parameter beschreiben somit auch das zu regelnde System (Regelstrecke). Die Beschreibung der Regelstrecke setzt sich somit aus einem Teil der aufgrund der

Maschineneigenschaften fix vorgegeben ist (Maschinenparameter), und einem variablen Anteil, welcher vom Prozess bzw. Prozessschritt abhängt, zusammen. Ändern sich die Prozessparameter oder unterscheiden sich diese von einem Prozess zum anderen, so ist es vorteilhaft, diese Information im Regelgesetz zu verwenden. Um ein optimales Regelverhalten für einen Prozess- bzw. Prozessschritt zu erreichen, kann eine Anpassung des Reglers an diesen durchgeführt werden.

[0012] Aus regelungstechnischer Sicht können zur Beschreibung des Systems sämtliche Parameter (Prozessparameter) herangezogen werden, welche sich aufgrund des Prozesses oder des Prozessschrittes ändern können und das Eingangs- / Ausgangsverhalten oder das Störverhalten der Regelstrecke beeinflussen. Neben der Auswirkung auf die Systemverstärkung kann auch die Auswirkung auf das Zeitverhalten der Regelstrecke berücksichtigt werden.

[0013] Üblicherweise werden die Regelungen so robust parametriert, dass sie für einen großen Bereich an Prozessparameter ein stabiles Verhalten zeigen. Damit sind sie aber für eine konkrete Anwendung nicht optimal, was zum Beispiel größere Abweichungen bei Störungen oder längeres Einschwingverhalten bei Sollwertänderungen bewirkt. Dem kann durch die Erfindung entgegengewirkt werden.

[0014] Der zumindest eine Pumpenmotor kann ein elektrischer Motor sein.

[0015] Bei der vom Pumpenmotor angetriebenen Pumpe kann eine Pumpe mit konstantem oder veränderlichem Verdrängungsvolumen eingesetzt werden. Bei der Pumpe mit konstantem Verdrängungsvolumen ist die Drehzahl die einzige Stellgröße für den Volumenstrom. Pumpen mit veränderlichem Verdrängungsvolumenstrom, wie beispielsweise Axialkolbenpumpen, verfügen neben der Antriebsdrehzahl über eine weitere Stellgröße, wie z. B. den Schwenkwinkel. Durch diese weitere Stellgröße existiert ein zusätzlicher Freiheitsgrad, wodurch zusätzliche Zielgrößen wie Energiebedarf oder Dynamik beeinflusst werden können.

[0016] Die Erfindung kann bei Hydrauliksystemen eingesetzt werden, wobei ein Pumpenmotor jeweils mehrere Pumpen antreibt oder wobei ein oder mehrere Pumpenmotoren eine Pumpe antreiben. Des Weiteren kann für jeden Pumpenmotor jeweils ein Antriebsregler vorhanden sein. Es gibt auch Ausführungen, wobei die Antriebsregler für mehrere Pumpenmotoren integriert ausgeführt sind (sog. Multi-Achs-Regler).

[0017] Schutz begehrt wird ebenfalls für eine Formgebungsmaschine mit einem erfindungsgemäßen Hydrauliksystem.

[0018] Weitere vorteilhafte Ausbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

[0019] Das Regelgesetz kann aus einer Menge von Regelgesetzen ausgewählt werden, wobei sich die Regelgesetze durch die Art der Regelung und/oder durch Parameter der Regelung und/oder durch eine Vorsteuerung unterscheiden. Beispielsweise kann frei zwischen PID-Reglern, Untermengen von PID-Reglern und anderen Regelkonzepten, wie etwa modellbasierten Reglern, gewählt werden. Die einzelnen Terme können auch beispielsweise nur auf rückgeführte Messwerte wirken. Außerdem kann zwischen Regelung komplett verschiedener Größen gewechselt werden (beispielsweise von Position- oder Geschwindigkeitsregelung auf Druckregelung). Parameter der Regelung können beispielsweise Verstärkungsparameter der einzelnen Terme sein.

[0020] Außerdem können im Rahmen der Auswahl des Regelgesetzes bestimmte Bedingungen festgelegt werden, wie beispielsweise eine Schranke für die Veränderung einer Stell- oder Regelgröße oder eine Schranke für die Stell- oder Regelgröße selbst.

[0021] Mögliche Prozessparameter können sein:

- Materialparameter des Kunststoffes, insbesondere Kompressionsmodul der Schmelze oder Viskosität der Schmelze (hier können nominelle Parameter z.B. gemäß einer entsprechenden Liste oder identifizierte Parameter, z.B. ein berechnetes Kompressionsmodul, herangezogen werden)

- Aktueller Arbeitspunkt des Prozesses, insbesondere Position und Geschwindigkeit der Schnecke, Schmelze- oder Forminnendruck, Volumen der Schmelze im Schneckenvorraum (Totvolumen abhängig von Düse und Flansch), Schmelzetemperatur oder Parameter der anderen (vorherigen) Prozessschritte (z.B. Dosieren oder Schließkraft)
- Werkzeugparameter, insbesondere Volumen und Fließlängen (Geometrien), z.B. Heißkanlvolumen, Werkzeug- oder Heißkanaltemperatur
- Parameter des Hydraulik- und Antriebskreises, insbesondere Hydraulikvolumen, Leitungslängen, Zylinderlängen und -durchmesser und aktuelle Position dessen, Öltemperatur oder das Verhältnis aus Schluckvolumen der Pumpe zu einem Parameter oder Kombination von Parametern
- Prozessschritt, insbesondere ein charakteristischer Parameter für den Prozessschritt (siehe Hydraulikkreis)

[0022] In dieser Liste sind auch Maschinenparameter enthalten, die gewöhnlich nicht als Prozessparameter bezeichnet, werden. Der Einfachheit halber werden die Maschinenparameter hier unter die Prozessparameter subsumiert.

[0023] Die Aufgabe der Steuerung ist es den Ablauf des Formgebungsprozesses zu steuern und die vorgegebenen Prozessgrößen nach den Vorgaben des Bedieners zu steuern oder zu regeln. Für den Einspritzprozess können folgende Prozessgrößen maßgeblich sein:

- Schneckenposition, Einspritzgeschwindigkeit, Einspritzdruck an der Schnecke bzw. Spritzkraft
- Schmelzedruck im Schneckenvorraum, Forminnendruck, Druck im Hydraulikzylinder während des Einspritzens (auch als Staudruck)
- Volumenstrom ins Werkzeug bzw. an der Düse, Fließfrontgeschwindigkeit und
- Größen für weitere Bewegungen, insbesondere Pumpendruck und Pumpenvolumenstrom allgemein, Positionen, Geschwindigkeiten und Drücke von weiteren Bewegungszylindern wie beispielsweise Schließkraft, Anpresskraft, Auswerfer usw.

[0024] Unter „Größen“ bzw. „Prozessgrößen“ werden dabei sowohl Werte der physikalischen / chemischen Größen zu einem bestimmten Zeitpunkt (oder Ort) als auch Verläufe über Zeiträume hinweg verstanden - also im Sinne einer abstrakten physikalischen bzw. chemischen Größe.

[0025] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung kann die Schnittstelle so ausgebildet sein, dass die Messwerte des zumindest einen Sensors vom Antriebsregler an das Steuerungsteil weitergeleitet werden. Insbesondere kann es vorgesehen sein, dass die Messwerte direkt zunächst dem Antriebsregler zugeführt werden. Dadurch kann die schnellstmögliche Rückführung der Messwerte für die Prozessregelung garantiert werden. Die Weitergabe an ein Steuerungsteil, das insbesondere für die Parameterermittlung für die Regelung zuständig sein kann, ist dann eine einfache Möglichkeit zum Verteilen der Messwerte.

[0026] Die Phase des Formgebungszyklus kann zumindest eines der folgenden beinhalten: Formschließen, Schließkraftaufbau, Einspritzen, Nachdruck, Form-Öffnen, Plastifizieren bzw. Dosieren, Staudruck-Regeln, Auswerfen, Temperieren. Das erfindungsgemäße Hydrauliksystem kann zum Antreiben der Aktuatoren für die Durchführung dieser Phasen des Formgebungszyklus eingesetzt werden.

[0027] Es kann ein vom Antriebsregler separater Steuerungsteil vorhanden sein, wobei Antriebsregler und Steuerungsteil über eine Datenübertragungsverbindung verbunden sind. Die Datenübertragungsverbindung kann insbesondere ein Feldbus sein.

[0028] Der Steuerungsteil kann dabei insbesondere dazu ausgebildet sein, zumindest einen Soll-Wert für die Regelung der zumindest einen Prozessgröße vorzugeben (beispielsweise Soll-Werte für die Schneckengeschwindigkeit oder eines Druckes einer Schmelze).

[0029] Der Steuerungsteil kann dazu ausgebildet sein, das Regelgesetz auf Basis der weitergeleiteten Messwerte des zumindest einen Sensors auszuwählen und zum Antriebsregler zu

übertragen, wobei insbesondere im Zuge der Auswahl des Regelgesetzes Regelparameter für das Regelgesetz ausgewählt und weitergeleitet werden können. Der Steuerungsteil kann also sowohl die Art der Regelung als auch Regelparameter der Regelung bestimmen - er kann also alle erfindungsgemäßen Aufgaben der Regelvorrichtung (als Teil derselben) in Bezug auf die Auswahl des Regelgesetzes übernehmen.

[0030] Das Steuerungsteil kann integral mit einer zentralen Maschinensteuerung ausgeführt sein, was eine bevorzugte Ausführungsform darstellt, weil sie besonders einfach ist. Wie im Stand der Technik ist damit die übergeordnete Kontrolle in der Hand der zentralen Maschinensteuerung, wo auch die Benutzereingaben getätigt werden. Die untergeordneten Regelungsaufgaben, um die Vorgaben aus dem Steuerungsteil so gut wie möglich umzusetzen, sind dann kaskadiert im Antriebsregler durchzuführen.

[0031] Im Rahmen der Erfindung kann der Steuerungsteil aber auch separat von der Maschinensteuerung ausgeführt sein.

[0032] Der Antriebsregler kann dazu ausgebildet sein, über die Schnittstelle ermittelte Werte, insbesondere Messwerte zumindest eines Sensors und/oder berechnete Werte, entgegenzunehmen, wobei die Messwerte vorzugsweise zumindest eines der folgenden betreffen: ein Hydraulikdruck (inklusive der Möglichkeit eines Differenzdrucks), eine Temperatur eines Hydraulikfluids, eine Position, insbesondere einer Plastifizierschnecke, eine Geschwindigkeit, insbesondere einer Plastifizierschnecke, ein Druck einer Schmelze, ein Massen- und/oder Volumenstrom der Schmelze, eine Temperatur der Schmelze, einen Forminnendruck, einen Einspritzdruck im Hydraulikzylinder, eine Spritzkraft, eine Schneckendrehzahl, eine Schließbewegung. Ermittelte Werte können auch berechnete Werte, wie beispielsweise ein Kompressionsmodul, sein, die beispielsweise von einer Berechnungseinheit auf Basis einer vorgegebenen Berechnungsmethode ermittelt werden.

[0033] Der Einspritzdruck am Hydraulikzylinder und an der Plastifizierschnecke unterscheiden sich durch die Wirkung der Reibung im System, insbesondere die Reibung zwischen der Schmelze und dem Plastifizierzylinder.

[0034] Wie bereits angemerkt, kann der Antriebsregler dann die Messwerte des zumindest einen Sensors verwenden, um so schnell wie möglich die Feedback-Schleife der Regelung zu füttern (also ohne den Umweg über eine zentrale Maschinensteuerung und ggf. einen Feldbus).

[0035] Die Erfindung kann sowohl bei vollhydraulischen Formgebungsmaschinen als auch bei Hybridmaschinen zum Einsatz kommen. Also Hybridmaschinen ausgebildete Spritzgießmaschinen könne beispielsweise eine hydraulische Schließeinheit und eine elektrische Einspritzeinheit oder umgekehrt aufweisen. Außerdem kann die Erfindung zum Laden eines Hydraulikakkumulators bzw. zusammen mit einem Hydraulikakkumulator verwendet werden.

[0036] Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich anhand der Figuren sowie der dazugehörigen Figurenbeschreibung. Dabei zeigen:

[0037] Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Formgebungsmaschine mit einem erfindungsgemäßen Hydrauliksystem und

[0038] Fig. 2 ein Regelschema eines weiteren Ausführungsbeispiels.

[0039] In der Figur 1 ist eine Formgebungsmaschine 10 mit einem erfindungsgemäßen Hydrauliksystem 1 symbolisch dargestellt.

[0040] Die Formgebungsmaschine 10 (in diesem Fall eine Spritzgießmaschine) verfügt über einen Einspritzzylinder, der über eine Pumpe 2 hydraulisch beaufschlagbar ist. (Die Hydraulikleitungen sind der einfachen Darstellung halber nicht eingezeichnet.)

[0041] Die Pumpe 2 wird von einem Pumpenmotor 3 angetrieben.

[0042] Die Ansteuerung des Pumpenmotors 3 geschieht über den Antriebsregler 5. Der Pumpenmotor 3 ist in diesem Ausführungsbeispiel ein elektrischer Motor und der Antriebsregler 5 beinhaltet die Leistungselektronik, mittels welcher der elektrische Motor 3 direkt ansteuerbar ist.

[0043] Getrennt vom Antriebsregler 5 ist ein Steuerungsteil 6, welcher integral mit der zentralen Maschinensteuerung der Formgebungsmaschine ausgebildet ist und über einen Feldbus mit dem Antriebsregler 5 verbunden ist. die zentrale Maschinensteuerung und der Feldbus sind der einfachen Darstellung halber nicht Teil der Figur 1.

[0044] Der Steuerungsteil 6 und der Antriebsregler 5 bilden Teile der Regelvorrichtung 4.

[0045] Der Steuerungsteil 6 ist zum einen für die Vorgabe der Soll-Werte für die Prozessgrößen zuständig. In diesem Ausführungsbeispiel wären das beispielsweise eine Geschwindigkeit einer Plastifizierschnecke oder ein von der Plastifizierschnecke ausgeübter Druck auf eine Schmelze (v_schnecke_soll oder p_schnecke_soll).

[0046] Außerdem ist der Steuerungsteil 6 für die Ermittlung der Parameter der Regelung zuständig. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist im Rahmen der Auswahl des Regelgesetzes nur die Anpassung der Verstärkungen vorgesehen. Sowohl Soll-Werte für die Prozessparameter als auch die Regelparameter werden über den Feldbus dem Antriebsregler 5 zugeführt.

[0047] Dem Antriebsregler 5 werden ebenfalls die Messwerte von Sensoren 7 zugeführt, die beispielsweise den von einer Plastifizierschnecke ausgeübten Druck oder eine Position der Plastifizierschnecke oder eine Geschwindigkeit der Plastifizierschnecke messen.

[0048] Zusätzlich wird der Antriebsregler mit einem Druck des Hydraulikfluids (in den meisten Fällen Öl) gefüttert.

[0049] Ausgehend von den Größen und Parametern, die dem Antriebsregler zur Verfügung stehen, wird eine kaskadierte Regelung durchgeführt. Dabei werden zunächst die Soll-Werte für die Prozessregelung vorgegeben, die, wie bereits erwähnt, über den Feldbus aus dem Steuerungsteil 6 bereitgestellt werden.

[0050] Die Regelbefehle aus dieser Prozessregelung werden dann in eine unterlagerte Druckregelung der Pumpe 2 überführt, wobei das Drucksignal der Pumpe 2 als rückgeführte Größe für die kaskadierte Pumpenregelung fungiert.

[0051] Weiter wird das so erzeugte Drucksignal für die Pumpe 2 in ein Drehmoment oder eine Drehzahl des Pumpenmotors 3 umgewandelt, beispielsweise durch eine Regelung. Mittels dieser umgerechneten Größen kann die Leistungselektronik den Pumpenmotor 3 ansteuern.

[0052] Die im Antriebsregler 5 vorliegenden Prozessparameter und gegebenenfalls auch Messwerte, die im Antriebsregler 5 vorliegen, werden gemäß dem Ausführungsbeispiel über den Feldbus dem Steuerungsteil 6 bereitgestellt. Insbesondere kann dadurch eine Anpassung der Regelparameter erfolgen.

[0053] Dadurch kann sogar eine Regelung der Regelparameter (also in gewissen Sinn eine Meta-Regelung) durchgeführt werden. Letztlich ist es auch möglich das Regelgesetz dynamisch auszuwählen und dadurch auch bei der Art der Regelung schnell auf geänderte physikalische bzw. chemische Zustände / Messwerte beim Formgebungsprozess reagiert werden.

[0054] In Fig. 2 ist ein erfindungsgemäßes Regelschema dargestellt. Bei der Festlegung des Regelgesetzes wird dabei auf Prozessparamter Rücksicht genommen. Dies wird anhand des Beispiels des Kompressionsmoduls (K-Modul) beschrieben. Die Bestimmung des K-Moduls ist in der AT 517128 A1 der Anmelderin beschrieben.

[0055] Basierend auf dem ermittelten Wert für das K-Modul, welches eine charakteristische Größe für die Systemeigenschaften in der Nachdruckphase ist, werden die Parameter für die Nachdruckregelung ermittelt. Mittels einer Rechenvorschrift oder in der Steuerung hinterlegten Wertetabelle können die Reglerparameter aufgrund des ermittelten Parameters des K-Moduls berechnet bzw. ermittelt werden. Neben der Regelverstärkung für den Nachdruckregler können auch zum Beispiel weitere Parameter zur Vorsteuerung bzw. zur Trajektorienplanung analog bestimmt werden. Die ermittelten Werte für die Regelung werden dem Prozessregler (hier Nachdruckregler) am Antrieb vorzugsweise über den Feldbus übergeben, welcher damit parametriert wird.

[0056] Der Einspritzdruckistwert wird direkt dem Antriebsregler über einen analogen Eingang oder über den Feldbus von einem separaten I/O Modul zugeführt. Dieser Wert wird auch zur überlagerten Steuerung mittels Feldbus übertragen. Mit dem Start der Nachdruckphase startet der Nachdruckregler am Pumpenmotor 3 und stellt den Sollwert für die unterlagerte Drehzahlregelung zur Verfügung.

[0057] Betrachtet man das Kompressionsmodul des Kunststoffes, so hat das wesentlichen Einfluss auf die Systemeigenschaften des zu regelnden Systems in der Einspritz- und Nachdruckphase. Weist der Kunststoff einen hohen Wert vom Kompressionsmodul auf, so bewirken geringe Änderungen der Schneckenposition bereits große Druckänderungen in der Nachdruckphase, wodurch das Eingangs-Ausgangsverhalten der Regelstrecke eine hohe Systemverstärkung aufweist. In diesem Fall darf die Reglerverstärkung nicht zu hoch gewählt werden, um ein stabiles Regelverhalten zu erhalten.

[0058] Weist der im Prozess verarbeitete Kunststoff aber ein geringes Kompressionsmodul auf, so sind größere Änderungen der Schneckenposition nötig, um eine entsprechende Druckänderung zu erreichen. In diesem Fall ist die Systemverstärkung der Regelstrecke geringer und die Reglerverstärkung des Reglers im Nachdruck kann erhöht werden.

[0059] Ähnlich ist auch der Einfluss des Totvolumens der Schmelze im Schneckenvorraum bzw. auch die aktuelle Schneckenposition hat Einfluss auf die resultierende Systemverstärkung der Regelstrecke im aktuellen Arbeitspunkt im Nachdruck.

[0060] Abhängig vom aktuellen Prozessschritt werden von der Steuerung Hydraulikventile angesteuert um unterschiedliche Achsen zu bewegen. Durch die Schaltventile ändert sich dadurch das durch die Pumpe versorgte Leitungs- und oder Zylindervolumen. Dieses Volumen bestimmt wiederum die Systemeigenschaften bei der Regelung des Pumpendruckes.
Sind beispielsweise alle Ventile geschlossen, so ist das aktive Volumen minimal für die vorhandene Systemkonfiguration. Hier führen geringe Volumenströme bzw. Drehzahlen der Pumpe zu deutlichen Druckänderungen wenn der Zylinderanschlag erreicht ist, somit ist die Systemverstärkung da am höchsten.

[0061] Öffnet dann aber ein Schaltventil, so strömt das Öl durch das Ventil in zusätzliches Leitungs- und Zylindervolumen. Dadurch reduziert sich die Druckänderung bei entsprechenden Volumenströmen der Pumpe und die Systemverstärkung des zu regelnden Systems ist reduziert, wodurch höhere Regelverstärkungen des Reglers zulässig sind.

[0062] In Fig. 2 ist ein PID Regelkreis mit Vorsteuerung dargestellt. Im PID Zweig wird der Regelfehler e aus der Differenz von Sollwert ref und Istwert act berechnet. Die PID Anteile werden summiert und mit der Reglerverstärkung KR multipliziert und der Anteil der Stellgröße vom PID Regler uPID berechnet. Parallel zum PID Zweig befindet sich der Vorsteuerzweig. Aus dem Referenzwert hier wird mittels der Vorsteuerfunktion FF und der Verstärkung der Vorsteuerung KS der Vorsteueranteil der Regelgröße uFF berechnet. Die Vorsteuerung berücksichtigt in dem Fall nur die Sollwerte und kann zur Verbesserung des Führungsverhalten wie z.B. für schnelleres Einschwingen bei Sollwertänderungen verwendet werden. Neben einer Vorsteuerung basierend auf Sollwerte ist auch eine Vorsteuerung basierend auf weiteren Istwerten bzw. Störgrößen möglich.

[0063] Neben der Anpassung der Reglerverstärkung können auch weitere Parameter des Reglers abhängig von den Prozessparametern angepasst werden. Hier sind die Parameter des I- und D-Anteils vom PID Regler als auch die Verstärkung der Vorsteuerung (KS) möglich.

[0064] Sind die Funktionen der Steuerung bzw. Regelung auf mehrere Steuereinheiten verteilt, ist für eine reproduzierbare und präzise Regelung eine Synchronisation der einzelnen Steuergeräte notwendig. Erfolgt beispielsweise die Bereitstellung der Sollwerte in der zentralen Maschinensteuerung (separates Steuerteil), so muss gewährleistet werden, dass die Sollwerte für die Regelung am Antriebsregler bereit stehen, wenn sie benötigt werden. Ein weiterer, besonders für den Einspritzprozess wichtiger Punkt, ist die Umschaltung von der geschwindigkeitsgeregelten Einspritzphase auf die Nachdruckregelung.

[0065] Die Steuereinrichtungen und die Datenübertragung zwischen diesen müssen eine synchronisierte Steuerung ermöglichen. Die durch die Kommunikation verursachten Verzögerungszeiten bzw. Zeitunterschiede sind bei dem Austausch der Signale entsprechend zu berücksichtigen.

[0066] Insgesamt erlaubt es die Erfindung durch Durchführen der Details der Prozessregelung direkt am Antrieb eine schnellere und bessere Nachführung von Ist-Werten der Regelung an die jeweiligen Soll-Werte für die Prozessparameter zu erreichen. Es handelt sich also in gewissem Sinne um einen intelligenten Antriebsregler 5.

Patentansprüche

1. Hydrauliksystem für eine Formgebungsmaschine mit
   - zumindest einer Pumpe (2),
   - zumindest einem Pumpenmotor (3), welcher zum Antreiben der zumindest einen Pumpe (2) ausgebildet ist, sowie
   - einer Regelvorrichtung (4), welche dazu ausgebildet ist, eine Regelung des zumindest einen Pumpenmotors (3) durchzuführen, und Prozessparameter, welche bei einem mit der Formgebungsmaschine durchgeführten Formgebungsprozess auftreten, festzulegen und/oder zu berechnen und/oder über eine Schnittstelle entgegenzunehmen,

   wobei die Regelvorrichtung (4) dazu ausgebildet ist, ein Regelgesetz der Regelung des zumindest einen Pumpenmotors (3) auf Basis der Prozessparameter und/oder einer Phase des Formgebungszyklus auszuwählen und die Regelvorrichtung (4) einen Antriebsregler (5) zur Ansteuerung des zumindest einen Pumpenmotors (3) beinhaltet, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Antriebsregler (5) dazu ausgebildet ist, eine Regelung zumindest einer Prozessgröße, welche bei einem mit der Formgebungsmaschine durchgeführten Formgebungsprozess auftritt, durchzuführen.

2. Hydrauliksystem nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Regelgesetz aus einer Menge von Regelgesetzen ausgewählt wird, wobei sich die Regelgesetze durch die Art der Regelung und/oder durch Parameter der Regelung und/oder durch eine Vorsteuerung unterscheiden.

3. Hydrauliksystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Prozessparameter Soll-Werte und/oder Ist-Werte für eine oder mehrere der folgenden beinhalten: Materialparameter des Kunststoffs, Aktueller Arbeitspunkt des Formgebungsprozesses, Werkzeugparameter, Parameter der Hydraulik bzw. des Antriebs, Prozessschritt.

4. Hydrauliksystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zumindest eine Prozessgröße zumindest eine der folgenden beinhaltet: Schneckenposition, Einspritzgeschwindigkeit, Einspritzdruck, Schmelzedruck im Schneckenvorraum, Forminnendruck, Volumenstrom ins Werkzeug, Fließfrontgeschwindigkeit, Schneckendrehzahl, Spritzkraft, Volumenstrom an der Düse, Schließbewegung, Schließkraft, Nachdruck, Staudruck, Plastifizierleistung, Dosierzeit, Spritzvolumen, Größen für weitere Bewegungen der Formgebungsmaschine.

5. Hydrauliksystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Phase des Formgebungszyklus zumindest eines der folgenden beinhaltet: Form-Schließen, Schließkraftaufbau, Einspritzen, Nachdruck, Form-Öffnen, Plastifizieren bzw. Dosieren, Staudruck-Regeln, Auswerfen, Temperieren.

6. Hydrauliksystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Regelvorrichtung (4) einen vom Antriebsregler (5) separaten Steuerungsteil (6) beinhaltet, wobei Antriebsregler (5) und Steuerungsteil (6) über eine Datenübertragungsverbindung, insbesondere einen Feldbus, verbunden sind und der Steuerungsteil (6) dazu ausgebildet ist, zumindest einen Soll-Wert für die Reglung der zumindest einen Prozessgröße vorzugeben.

7. Hydrauliksystem nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Zuge der Auswahl des Regelgesetzes Regelparameter für das Regelgesetz und/oder Prozessparameter zur Auswahl der Regelparameter vom Steuerungsteil (6) zum Antriebsregler (5) übertragen werden.

8. Hydrauliksystem nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Steuerungsteil (6) und eine zentrale Maschinensteuerung der Formgebungsmaschine (10) integral miteinander oder separat voneinander ausgeführt sind.

9. Hydrauliksystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Antriebsregler (5) dazu ausgebildet ist, über die Schnittstelle ermittelte Werte, insbesondere Messwerte zumindest eines Sensors (7) und/oder berechnete Werte, entgegenzunehmen, wobei die Messwerte vorzugsweise zumindest eines der folgenden betreffen: ein Hydraulikdruck, eine Temperatur eines Hydraulikfluids, eine Position, insbesondere einer Plastifizierschnecke, eine Geschwindigkeit, insbesondere einer Plastifizierschnecke, ein Druck einer Schmelze, ein Massen- und/oder Volumenstrom der Schmelze, eine Temperatur der Schmelze, einen Forminnendruck, einen Einspritzdruck im Hydraulikzylinder, eine Spritzkraft, eine Schneckendrehzahl, eine Schließbewegung.

10. Hydrauliksystem nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Antriebsregler (5) dazu ausgebildet ist, Messwerte des zumindest einen Sensors (7) als rückgeführte Größe für die Regelung des zumindest einen Pumpenmotors (3) zu verwenden.

11. Hydrauliksystem nach einem der Ansprüche 6 bis 8 und einem der Ansprüche 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schnittstelle so ausgebildet ist, dass die Messwerte des zumindest einen Sensors (7) vom Antriebsregler (5) an das Steuerungsteil (6) weitergeleitet werden.

12. Hydrauliksystem nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Steuerungsteil (6) dazu ausgebildet ist, das Regelgesetz auf Basis der weitergeleiteten Messwerte des zumindest einen Sensors auszuwählen und zum Antriebsregler (5) zu übertragen, wobei insbesondere im Zuge der Auswahl des Regelgesetzes Regelparameter für das Regelgesetz ausgewählt und weitergeleitet werden.

13. Formgebungsmaschine mit zumindest einem Hydrauliksystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

14. Formgebungsmaschine nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Antriebsregler (5) über die Schnittstelle mit zumindest einem Sensor (7) an der Formgebungsmaschine (10) verbunden ist.

15. Verfahren zum Betreiben eines Hydrauliksystems einer Formgebungsmaschine, insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 12, oder einer Formgebungsmaschine, insbesondere nach Anspruch 13 oder 14, wobei
    - eine Regelung zumindest eines Pumpenmotors (3) durchgeführt wird,
    - der Pumpenmotor (3) mittels eines Antriebsreglers (5) angesteuert wird,
    - Prozessparameter, welche bei einem mit der Formgebungsmaschine (10) durchgeführten Formgebungsprozess auftreten, festgelegt und/oder berechnet und/oder gemessen werden, und
    - ein Regelgesetz der Regelung des zumindest einen Pumpenmotors (3) auf Basis der Prozessparameter und/oder einer Phase des Formgebungszyklus ausgewählt wird,

    dadurch gekennzeichnet, dass mittels des Antriebsreglers (5) eine Regelung zumindest einer Prozessgröße, welche bei einem mit der Formgebungsmaschine (10) durchgeführten Formgebungsprozess auftreten, durchgeführt wird.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

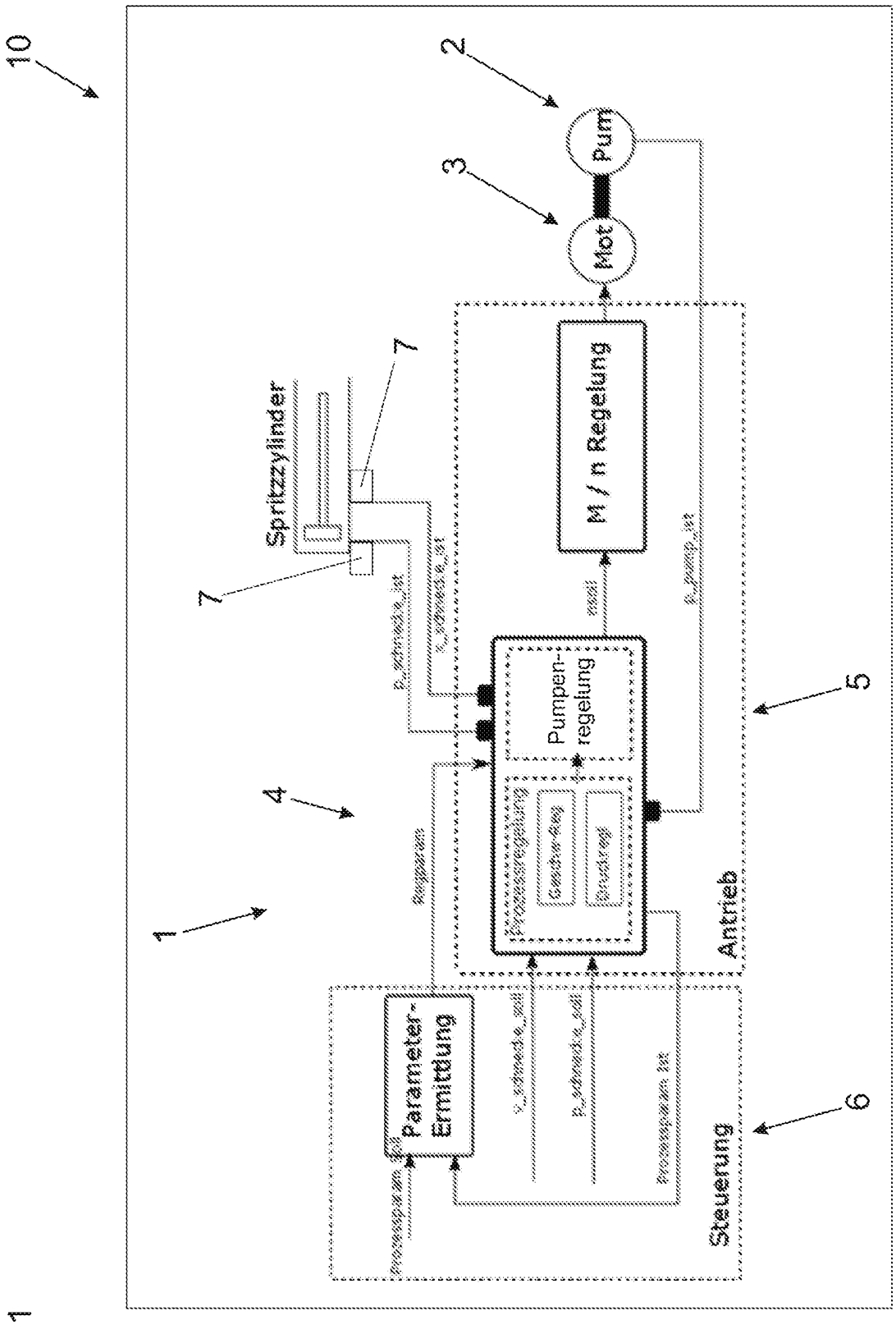

10
2
Pum
3
Mot
7
Spritzzylinder
7
M / n Regelung
Pumpen-
regelung
5
4
Prozessregelung
Antrieb
1
Parameter-
Ermittlung
6
Steuerung

Fig. 1

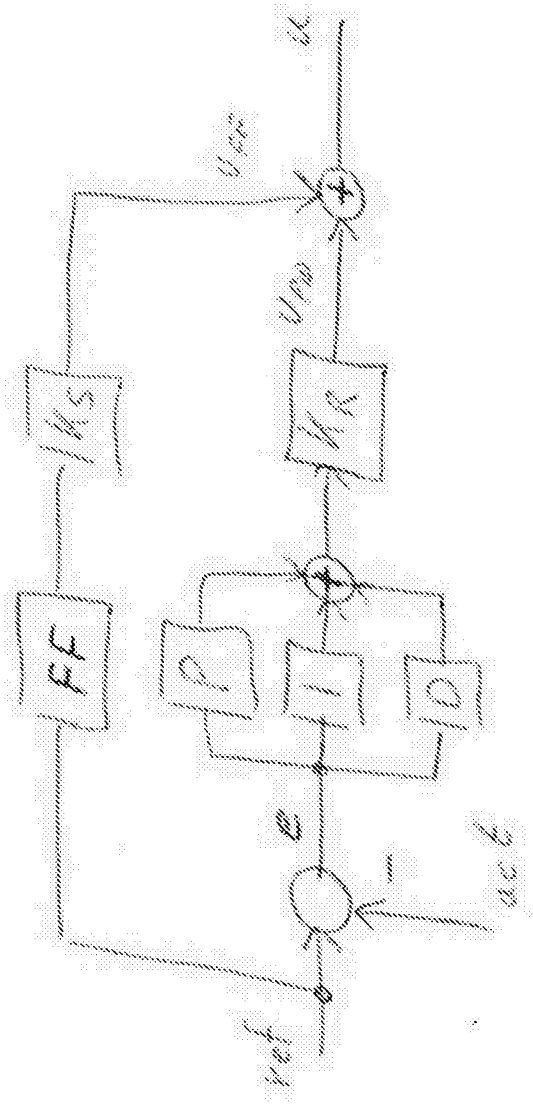


Fig. 2