

(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
24. Oktober 2019 (24.10.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/201620 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B60T 8/36 (2006.01) *H01F 7/18* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/058591

(22) Internationales Anmeldedatum:

05. April 2019 (05.04.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2018 206 114.9

20. April 2018 (20.04.2018) DE

(71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Post-
fach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder: **SCHANZENBACH, Matthias**; Am Hader
8, 74246 Eberstadt (DE). **SCHMIDTLEIN, Andreas**;

Stuttgarter Str. 166, 71732 Tamm (DE). **HAEFELE, Frank**; Habichtweg 4, 74343 Sachsenheim-Kleinsachsen-
heim (DE). **OBENLAND, Ruben**; Im Langgewaend 21,
71723 Grossbottwar (DE).

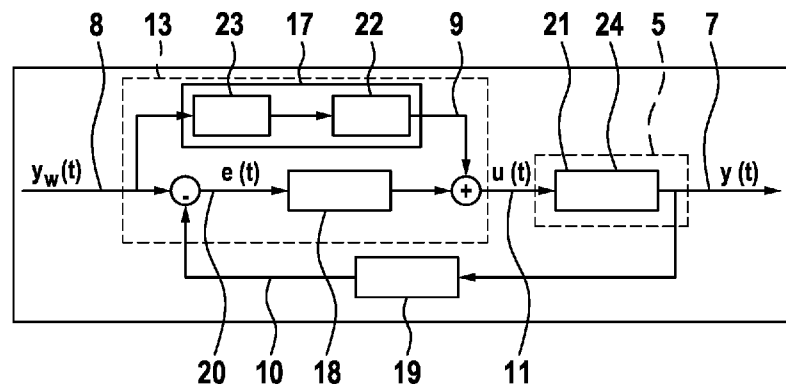
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,
NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SA, 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,

(54) Title: METHOD FOR ACTUATING A VALVE, AND CORRESPONDING DEVICE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM ANSTEUERN EINES VENTILS UND ENTSPRECHENDE VORRICHTUNG

Fig. 3



(57) **Abstract:** The invention relates to a method for actuating a valve (5) with an electromagnetic valve drive (6) through which electric current (7) is conducted to open or close the valve (5) or to hold the valve in an open or closed position, said method having at least the following steps: a) receiving an opening signal (8), b1) determining an adapted opening signal (27) which is adapted to physical limits of the valve or valve drive, and b2) determining a feed-forward signal (9) for feed-forward control of an electric current to drive an electrical valve drive to open the valve in reaction to the adapted opening signal (27), c) calculating an actuation signal (11) for actuating the valve drive using the feed-forward signal (9), and d) outputting the actuation signal (11).

(57) **Zusammenfassung:** Verfahren zum Ansteuern eines Ventils (5) mit einem elektromagnetischen Ventilantrieb (6), durch welchen elektrischer Strom (7) geleitet wird, um das Ventil (5) zu öffnen, zu schließen oder es in einer geöffneten oder geschlossenen Stellung zu halten, aufweisend zumindest die folgenden Schritte: a) Empfangen eines Öffnungssignals (8), b1) Ermitteln eines angepassten Öffnungssignals (27), welches an physikalische Grenzen des Ventils oder des Ventilantriebs angepasst ist, und b2) Ermitteln eines Vorsteuerungssignals (9) zur Vorsteuerung eines elektrischen Stroms zum Antrieb eines elektrischen Ventilantriebs zum Öffnen des Ventils in Reaktion auf das angepasste Öffnungssignal (27). c) Berechnen eines Ansteuerungssignals (11) zur Ansteuerung des Ventil-

GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

Beschreibung

Titel

5 Verfahren zum Ansteuern eines Ventils und entsprechende Vorrichtung

Stand der Technik

10 Heutige Bremsregelsysteme nutzen elektromechanische Ventile um Druckmodulationen in einem ABS oder ESP Eingriff (Fahrdynamik Regeleingriffe) umzusetzen. Die eingesetzten Aktuatoren (zum Beispiel Magnetventile) werden mittels einer elektrischen Spannung angesteuert, und entsprechend ihrem Aufbau werden damit hydraulische oder pneumatische Medien oder auch mechanische Bauteile gesteuert oder geregelt. Da an diese fahrdynamischen Eingriffe immer mehr Anforderungen gestellt werden (Druckstellgüte, Reproduzierbarkeit, Dynamik, Geräusch beim Schalten, etc.) werden damit auch immer mehr Anforderungen an deren Steller gestellt. Ein sehr kritischer Punkt bei ABS- und ESP-Systemen ist unter anderem die Bremsperformance (Bremsweg) und bei komfortrelevanten Funktionen das Schaltgeräusch. Je kleiner der Bremsweg werden soll, desto schneller und präziser müssen die Magnetventile Ihren Sollwert erreichen, um die Druckvorgaben des übergeordneten Bremsreglers zu erfüllen. Die Endstufen dieser Ventile werden über geregelte oder ungeregelte Spannungsendstufen betrieben.

25

Offenbarung der Erfindung

Hier beschrieben werden soll ein Verfahren zum Ansteuern eines Magnetventils, welches so optimiert ist, dass ein Sollwert sich schnell (hier der Strom im Magnetkreis des Ventils) einstellt, ohne dass ungewollte Überschwinger auftreten und ohne dass das System zu schwingen anfängt, oder dass das Ventil so langsam angesteuert werden kann, dass es möglichst sanft öffnet oder schließt. Das hier beschriebene System ist darüber hinaus robust gegen Quereinflüsse. Zudem ermöglicht das System über einen modellgestützten Ansatz eine relevante Systemgröße (Widerstand der Spule) zu schätzen und sich damit schnell an vorhandene Bedingungen zu adaptieren.

35

Das hier beschriebene Verfahren zum Ansteuern eines Ventils mit einem magnetischen Ventilantrieb, durch welchen elektrischer Strom geleitet wird, um das Ventil zu öffnen, zu schließen und es in einer geöffneten oder geschlossenen Stellung zu halten, weist folgende Schritte auf:

- a) Empfangen eines Öffnungssignals,
- b1) Ermitteln eines angepassten Öffnungssignals, welches an physikalische Grenzen des Ventils oder des Ventilantriebs angepasst ist,
- b2) Ermitteln eines Vorsteuerungssignals zur Vorsteuerung eines elektrischen Stroms zum Antrieb eines elektrischen Ventilantriebs zum Öffnen des Ventils in Reaktion auf das angepasste Öffnungssignal,
- c) Berechnen eines Ansteuerungssignals zur Ansteuerung des Ventilantriebs unter Verwendung des Vorsteuerungssignals, und
- d) Ausgabe des Ansteuerungssignals.

Besonders bevorzugt ist das Verfahren, wenn es ferner folgenden Schritt umfasst:

- b3) Empfangen eines elektrischen Stromsignals, welches einen elektrischen Strom durch den Ventilantrieb repräsentiert,

wobei in Schritt c) bei der Berechnung des Ansteuerungssignals zusätzlich das in Schritt b3) empfangene Stromsignal verwendet wird.

Üblicherweise werden in Bremsregelsystemen Magnetventile verwendet, die durch das Verhalten eines PT1-Gliedes (R-L-Regelkreis) beschreibbar sind.

Zusätzlich erfolgt eine Regelung der Magnetventile. Das bedeutet, dass ein Iststrom durch die Magnetventile gemessen und berücksichtigt wird. Dies ist notwendig, weil je nach Betriebsbedingungen sehr unterschiedliche Lasten vorhanden sind. Unterschiedliche Lasten können beispielsweise durch temperaturbedingte Änderungen des Spulenwiderstandes oder durch Änderungen des Drucks in den Leitungen ausgelöst werden. Änderungen des Drucks in den Leitungen umfassen insbesondere auch Abhängigkeiten des Drucks in den Leitungen, die durch das Ventil geschlossen oder freigegeben werden können. Daher kann der Strom durch das Magnetventil nicht mit einer reinen Steuerung eingestellt werden. Durch eine typische Strom-Regelung ist allerdings eine Rückkopplung in der Ansteuerung der Magnetventile vorhanden. Rückkopplungen bringen prinzipielle Probleme mit sich. Die relevanteste Problematik ist die Schwingungsanfälligkeit einer Regelung. Regler benötigen

einen oder mehrere Regelzyklen um die Sollwerte einzuregeln. Bei der Verwendung von Reglern sollte daher sichergestellt sein, dass diese über die Serientoleranzen stabil sind.

5 In Schritt a) des beschriebenen Verfahrens wird zunächst ein Öffnungssignal empfangen. Ein Öffnungssignal ist ein Signal, welches den Öffnungszustand des Ventils betrifft. Es kann sich um ein Signal zum Öffnen oder um ein Signal zum Schließen des Ventils handeln.

10 Gemäß dem hier beschriebenen Verfahren wird nach dem Empfangen eines Öffnungssignals in Schritt a) und in Schritt b1) und b2) ein Vorsteuerungssignal ermittelt/berechnet. Je nach Art und Gestaltung des Öffnungssignals kann ein anderes Ansteuerungssignals notwendig sein. Das Vorsteuerungssignal ist ein geschätztes, besonders geeignetes Ansteuerungssignal mit welchem der
15 Ventilantrieb angesteuert wird.

Die Schritte b1) und b2) bilden einen zweistufigen Prozess zur Bestimmung des Vorsteuerungssignales.

20 In Schritt b1) erfolgt ein Ermitteln eines angepassten Öffnungssignals, welches an physikalische Grenzen des Ventils oder des Ventilantriebs angepasst ist.

In Schritt b2) erfolgt ein Ermitteln eines Vorsteuerungssignals zur Vorsteuerung eines elektrischen Stroms zum Antrieb eines elektrischen Ventilantriebs zum
25 Öffnen des Ventils in Reaktion auf das angepasste Öffnungssignal,

Ein Vorteil einer guten Vorsteuerung zu einer Regelung ist, dass die Vorsteuerung (für sich genommen) nicht schwingen kann. Damit wäre zumindest
30 die Stabilität nahezu unabhängig von den Serientoleranzen. Zusätzlich ist allerdings für eine Ansteuerung des Ventils auch eine Regelung notwendig, weil die Vorsteuerung nicht sämtliche möglichen Einflüsse, die auf das Ventil wirken, ausreichend berücksichtigen kann.

35 In Schritt c) erfolgt die Berechnung eines Ansteuerungssignals zur Ansteuerung des Ventilantriebs. In Schritt d) wird das berechnete Ansteuerungssignal ausgegeben – beispielsweise an den Ventilantrieb.

Besonders bevorzugt ist das Verfahren, wenn es ferner folgenden Schritt umfasst:

5 b3) Empfangen eines elektrischen Stromsignals, welches einen elektrischen Strom durch den Ventilantrieb repräsentiert, wobei in Schritt c) bei der Berechnung des Ansteuerungssignals zusätzlich das in Schritt b3) empfangene Stromsignal verwendet wird.

10 In Schritt c) wird zusätzlich ein gemessener elektrischer Strom bzw. ein Parameter (ein Signal), welches für einen tatsächlich durch den Ventilantrieb fließenden Strom repräsentativ ist, empfangen. Dieser elektrische Strom bzw. dieser Parameter kann gemessen und/oder nur aus anderen Messgrößen berechnet werden.

15 In Schritt c) wird bei der Berechnung des Ansteuerungssignals bevorzugt der gemessene Strom (gemessen gemäß Schritt b3)) und eine modellierter Strom (erzeugt gemäß den Schritten b1) und b2)) , welcher durch die Vorsteuerung sehr gut der Realität entspricht, mit einander verglichen und eine mögliche Abweichung in einer Änderung der Systemparameter (Widerstand) interpretiert.

20 Bevorzugt erfolgt in weiteren Verfahrensschritten e) und f) eine Rückmeldung von Systemparameter an die Vorsteuerung. Wie beschrieben können Systemparameter (wie der Widerstand) durch eine Abweichung zwischen dem gemessenen Strom und dem berechneten Strom bestimmt werden. Bevorzugt können die weiteren Verfahrensschritte e) und f) wie folgt beschrieben werden.

- 25 f) Berechnen bzw. Schätzen eines neuen Datensatz von Systemparametern der Vorsteuerung (z.B. Widerstand).
- g) Rückmeldung von neu berechneten bzw. neu geschätzten Systemparametern (insbesondere des Widerstandes) an die Vorsteuerung, insbesondere um Modellfehler auch in der Vorsteuerung zu berücksichtigen.

30 Die Verfahrensschritte e) und f) können zeitlich vor, nach oder parallel zu Verfahrensschritt d) ausgeführt werden.

35 Bevorzugt fließen durch die Berechnung in Schritt c) das Vorsteuerungssignal und das gemessene elektrische Stromsignal zusammen, um unter Berücksichtigung beider Signale ein besonders geeignetes Ansteuerungssignal

zur Ansteuerung des Ventilantriebs zu berechnen. Dieses Ansteuerungssignal wird dann in Schritt d) ausgegeben.

5 Mit einer Ausgabe des Ansteuerungssignals ist bei allen Verfahrensvarianten des hier beschriebenen insbesondere gemeint, dass das Ansteuerungssignal dem Ventilantrieb zur Verfügung gestellt wird. Das Ansteuerungssignal kann beispielsweise eine Ausgangsspannung sein, die an den Ventilantrieb angelegt wird.

10 Besonders vorteilhaft ist das Verfahren, wenn das Vorsteuerungssignal mit einem Ventilmodell ermittelt wird.

15 Ein Ventilmodell bildet das Verhalten des Ventils im jeweiligen Betriebspunkt nach. Mit Hilfe des Ventilmodells kann das Verhalten des Ventils in Reaktion auf ein Ansteuerungssignal prognostiziert werden. Das Ventilmodell besteht bevorzugt aus mindestens einer linearen Differentialgleichung, welche das zeitverzögerte Verhalten des Ventils auf das Ansteuerungssignal beschreibt. Dieses zeitverzögerte Verhalten betrifft insbesondere den elektrischen Strom durch den Ventilantrieb, welcher sich in Folge einer Veränderung des
20 Ansteuerungssignal zeitverzögert verändert.

Besonders vorteilhaft ist das Verfahren, wenn das Ventilmodell ein Verzögerungsverhalten erster Ordnung des Ventils modelliert.

25 Ein Verzögerungsverhalten 1. Ordnung wird auch als PT1-Verhalten bezeichnet. Mit einem PT1-Verhalten kann der Ventilantrieb effizient als Ventilmodell nachempfunden werden. Ein PT1-Verhalten kann einfach und kosteneffizient in einem simuliert werden. Es hat sich heraus gestellt, dass durch ein PT1-Verhalten eine ausreichend gute Prognose des Ventilverhaltens in Reaktion auf
30 das Ansteuerungssignal möglich ist. Das Ventilmodell kann auch mehrere Verzögerungselemente mit PT1-Verhalten beinhalten, welche miteinander verknüpft sind, um das Ventilverhalten nachzubilden. Das Ventilmodell kann auch Verzögerungselemente höherer Ordnung (PT2, PT3, etc.) beinhalten.

35 Weiterhin bevorzugt ist, wenn eine Zeitkonstante des Ventilmodells mit einer Zeitkonstante des Ventilantriebs übereinstimmt.

Durch übereinstimmende Zeitkonstanten von Ventilmodell und Ventiltrieb wird erreicht, dass das Ventilmodell in seinem Verzögerungsverhalten dem Ventiltrieb nachempfunden ist. Wenn der Ventiltrieb und das Ventilmodell mehrere Zeitkonstanten aufweisen, stimmen diese Zeitkonstanten bei Ventiltrieb und Ventilmodell bevorzugt ebenfalls miteinander überein. Es ist auch möglich, dass der Ventiltrieb tatsächlich ein Verzögerungsverhalten höherer Ordnung hat, welches insbesondere mehrere kleine Zeitkonstanten umfasst und durch ein PT1-Element mit einer längeren Zeitkonstante approximiert wird.

In der Vorsteuerung können allerdings auch beliebige andere Zeitkonstanten hinterlegt sein, insbesondere, wenn die Vorsteuerung einen Zustandsvariablenfilter umfasst. Bevorzugt ist, dass eine der in der Vorsteuerung hinterlegten Zeitkonstanten mit der Zeitkonstante des „realen“ Ventiltriebs übereinstimmt. Insbesondere diese Zeitkonstante ist dem Ventilmodell zugehörig, welches das Verhalten des „realen“ Ventiltriebs nachbildet.

Auch besonders vorteilhaft ist das Verfahren, wenn in dem Ventilmodell eine Schätzung des elektrischen Widerstands des Ventiltriebs genutzt wird.

Darüber hinaus besonders vorteilhaft ist das Verfahren, wenn in dem Ventilmodell eine Schätzung der Induktivität des Ventiltriebs genutzt wird.

Der Widerstand kann sowohl fest hinterlegt werden, als auch in jedem Berechnungsschritt neu geschätzt werden. Je nach dem in welchem Umfeld das Ventil eingesetzt wird, ist es von Vorteil den Widerstand bei jedem Schritt zu schätzen um die Vorsteuerung möglichst effizient zu gestalten.

Der elektrische Widerstand und die Induktivität des Ventiltriebs definieren ganz wesentlich das Verzögerungsverhalten (PT1-Verhalten) zwischen einer Veränderung des Ansteuerungssignals und dem elektrischen Strom durch den Ventiltrieb. Insofern ist es vorteilhaft die Schätzungen dieser Parameter in dem Ventilmodell zu berücksichtigen.

Besonders vorteilhaft ist das Verfahren, wenn in Schritt d) eine Vorsteuerung und ein Regler genutzt werden, um das Ansteuerungssignal zu bestimmen.

Außerdem vorteilhaft ist das Verfahren, wenn in der Vorsteuerung ein inverses PT1-Element angewendet wird.

Weiterhin vorteilhaft ist das Verfahren, wenn in der Vorsteuerung ein Zustandsvariablenfilter angewendet wird.

Besonders bevorzugt ist der Zustandsvariablenfilter einem Ventilmodell vorgeschaltet. Besonders bevorzugt wird der Zustandsvariablenfilter zur Durchführung von Schritt b1) genutzt, um das angepasste Öffnungssignal zu erzeugen. Besonders bevorzugt wird das Ventilmodell zur Durchführung von Schritt b2) genutzt, um das Vorsteuerungssignal bzw. in dem Fall, dass kein zusätzlicher Regler verwendet wird, auch direkt das Ansteuerungssignal zu erzeugen.

Der Zustandsvariablenfilter ist eine regelungstechnisches Element, welches typischerweise gleicher Ordnung ist wie die Regelstrecke selbst. Mit Hilfe des Zustandsvariablenfilters ist es möglich, einen gewünschten Signalverlauf zu erzeugen, den die Strecke einnehmen soll (hier bevorzugt der Öffnungszustand des Ventils) . Die Zustandsvariablen, die der Strecke mit Hilfe der Vorsteuerung aufgeprägt werden sollen, werden mit dem Zustandsvariablenfilter so angepasst, dass diese realen physikalischen Gegebenheiten bzw. insbesondere auch physikalischen Grenzen Rechnung tragen. Ein in Schritt a) empfangenes Öffnungssignal ist beispielsweise eine Sprungfunktion. Das reale Ventil kann allerdings aufgrund konstruktionsbedingter physikalischer Grenzen nicht schlagartig geöffnet werden. Bevorzugt wird daher in Schritt b1) von dem Zustandsvariablenfilter aus dem Öffnungssignal ein angepasstes Öffnungssignal erzeugt, welches den physikalischen Grenzen Rechnung trägt. Aus einem Öffnungssignal, welches einer Sprungfunktion von 0 (geschlossen) auf 1 (geöffnet) entspricht wird von dem Zustandsvariablenfilter beispielsweise ein von 0 auf 1 entsprechendem Öffnungssignal erzeugt, welches ein Verlauf eines PT-1-Verhaltens entspricht.

Hier auch beschrieben werden soll ein Steuergerät zur Ansteuerung eines Ventils mit einem elektrischen Ventilantrieb, welches zur Durchführung des beschriebenen Verfahrens eingerichtet ist.

Die im Zusammenhang mit dem beschriebenen Verfahren geschilderten Vorteile und Ausgestaltungsmerkmale sind auf das beschriebene Steuergerät anwendbar und übertragbar. Gleiches gilt für die im Zusammenhang mit dem beschriebenen Steuergerät geschilderten Vorteile und Ausgestaltungsmerkmale, die auf das beschriebene Verfahren anwendbar und übertragbar sind.

Ein solches Steuergerät bildet bevorzugt ein eigenständiges Modul, welches zur Erzeugung eines geeigneten Ansteuerungssignals für den Ventilantrieb als Reaktion auf ein Öffnungssignal vorgesehen bzw. eingerichtet ist. Das Öffnungssignal beschreibt die Vorgabe, wie sich das Ventil verhalten soll und es wird üblicherweise von einem übergeordneten Steuergerät bereitgestellt. Das hier behandelte Steuergerät erhält das Öffnungssignal und bevorzugt darüber hinaus ein Stromsignal, welches die tatsächliche Situation in dem Ventilantrieb bzw. den tatsächlich in dem Ventil bzw. in dem Ventilantrieb vorliegenden Strom repräsentiert.

Hier auch beschrieben werden soll ein Computerprogramm, welches eingerichtet ist, das Verfahren beziehungsweise alle Schritte des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche auszuführen. Darüber hinaus soll ein maschinenlesbares Speichermedium vorgestellt werden, auf dem das Computerprogramm gespeichert ist.

Die Erfindung sowie das technische Umfeld werden nachfolgend anhand der Figuren näher erläutert. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Figuren und insbesondere die in den Figuren dargestellten Größenverhältnisse nur schematisch sind. Es zeigen:

Fig. 1: eine schematische Darstellung eines beschriebenen Ventils,

Fig. 2: eine Regelung einer Strecke mit einem Regler und einer Vorsteuerung,

Fig. 3: eine Regelung einer PT1-Strecke mit einem Regler und einer Vorsteuerung,

Fig. 4: eine Steuerung einer Strecke, mit vorgegebenem Signalverlauf $y(t)$

Fig. 5: ein Beispiel einer zu regelnden Strecke,

Fig. 6: einen Invertierer mit einer Strecke,

Fig. 7: einen Zustandsvariablenfilter ohne Stellgrößenbegrenzung,

Fig. 8: einen Zustandsvariablenfilter mit Stellerbegrenzung,

Fig. 9: ein Sprungantwortverhalten mit einer reinen Vorsteuerung (ohne Regler)
aber unterschiedlich bedatete Zustandsvariablenfilter,

Fig. 10: ein Fig. 9 entsprechendes Sprungantwortverhalten in einer anderen
Darstellung, und

Fig. 11: ein Regelkonzept mit einer Streckenbeobachtung zur Vorsteuerung und
Widerstandsschätzung.

Fig. 1 zeigt ein Ventil 5 mit einem Steuergerät 13 zur Ansteuerung dieses Ventils
5. Das Ventil 5 hat einen Fluidblock 14, welcher beispielsweise eine Leitung, eine
Engstelle und einen Ventilkörper umfasst, mit welchem das Ventil 5 geöffnet und
geschlossen werden kann. Der Fluidblock 14 bzw. insbesondere der Ventilkörper
des Fluidblocks 14 werden von einem Ventilantrieb 6 des Ventils 5 gesteuert. Der
Ventilantrieb 6 ist insbesondere eine elektrische Spule bzw. ein Elektromagnet,
der eine magnetische Kraft ausüben kann, die auf den Fluidblock 14 bzw.
insbesondere auf einen beweglichen Ventilkörper in dem Fluidblock 14 wirkt, um
das Ventil 5 zu öffnen oder zu schließen bzw. allgemein den Öffnungszustand
des Ventils 5 zu verändern.

Das Steuergerät 13 ist dazu eingerichtet, ein Öffnungssignal 8 zu empfangen. In
dem Öffnungssignal 8 ist bevorzugt eine Information enthalten wie der
Öffnungszustand des Ventils 5 verändert werden soll. Aus dem Öffnungssignal 8
erzeugt das Steuergerät 13 ein geeignetes Ansteuerungssignal 11, mit welchem
der Ventilantrieb in Reaktion auf dieses Öffnungssignal 8 zielgerichtet
angesteuert wird. Um das Ansteuerungssignal 11 geeignet zu erstellen, sind in
dem Steuergerät 13 ein Ventilmodell 12 und ein Zustandsvariablenfilter 23
hinterlegt. Weitere Details zur Verknüpfung von Ventilmodell 12 und
Zustandsvariablenfilter 23 sind im Folgenden anhand der weiteren Figuren
beschrieben. Das Steuergerät 13 kann darüber hinaus dazu eingerichtet sein,

Ventilparameter 15 zu erfassen. Ventilparameter 15 sind gemessene, tatsächliche Parameter des Ventilbetriebs. Die Werte solcher Parameter können bei der Erstellung eines geeigneten Ansteuerungssignal 11 berücksichtigt werden. Darüber hinaus kann das Steuergerät 13 ein Stromsignal 10 empfangen, welches den aktuell durch den Ventilantrieb 6 strömenden Strom repräsentiert. Ein Stromsignal 10 des Ventilantriebs 6 ist ebenfalls sehr vorteilhaft, um geeignete Ansteuerungssignale 11 für den Ventilantrieb 6 zu ermitteln.

Fig. 2 zeigt eine allgemeine Darstellung eines Regelkreises mit einer Vorsteuerung 17 und einem Regler 18 zur Steuerung einer Strecke 24. Die Strecke 24 entspricht dem Ventil 5 bzw. dem Ventilantrieb. Durch die Kombination von Vorsteuerung 17 und Regler 18 wird eine besonders schnelle, effiziente und genaue Regelung der Strecke 24 erreicht. Das in Fig. 1 beschriebene Steuergerät 13 wird von dem Regler 18 und der Vorsteuerung 17 gebildet. Ein Öffnungssignal 8 wird von links auf den Regler 18 und die Vorsteuerung 17 aufgeschaltet. Die Vorsteuerung 17 wirkt direkt auf die Strecke 24. Die Strecke 24 wird mit einem Sensor 19 überwacht. Dies kann beispielsweise ein Stromsensor sein, der ein Stromsignal 10 erzeugt, welches auf dem elektrischen Strom 7 basiert, welcher hier als Ausgangsgröße der Strecke 24 betrachtet wird. Aus dem Stromsignal 10 und dem Öffnungssignal 8 wird ein Regelfehler 20 berechnet, welcher als Eingangsgröße für den Regler 18 dient. Aus dem von der Vorsteuerung 17 ermittelten Vorsteuerungssignal und dem Ausgang des Reglers 18 wird ein Ansteuerungssignal 11 für die Strecke 24 (das Ventil 5 bzw. den Ventilantrieb des Ventils 5) bestimmt.) Hier wird angenommen, dass der Regler-Block das Stellglied mit beinhaltet.

Der Regler 18 ist in Fig. 3 als Bestandteil der Gesamtschaltung mit abgebildet. Es sind jedoch auch Ausführungsvarianten ohne Regler 18 möglich, insbesondere, wenn die Vorsteuerung ausreichend genau ist bzw. ggf. sogar eine Störgrößenkompensation aufweist, die es ermöglicht, Störgrößen so zu kompensieren, dass eine zusätzliche Regelung nicht mehr notwendig ist.

Fig. 3 zeigt eine Variante des Regelkreises aus Fig. 2, wobei gleiche Elemente hier mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet sind. Die Strecke 24 wird hier als PT1-Element 21 angenommen.

Die Vorsteuerung ist hier eine Kombination aus Zustandsvariablenfilter 23 und Invertierer 22. Eine solche Vorsteuerung wird auch prädiktive Vorsteuerung genannt. Der Zustandsvariablenfilter 23 berechnet einen Signalverlauf, der auch „Trajektorie“ genannt werden kann. Dieser Signalverlauf bzw. diese Trajektorie entspricht einem Wunschverlauf unter Berücksichtigung physikalischer Grenzen, welche die Ausgangsgrößen 7 erfüllen sollen. Mit dem Inverter 22 wird die Trajektorie in die eigentliche Stellgröße überführt.

Die Fig 4 verdeutlicht eine reine Vorsteuerung 17 zur Steuerung einer Strecke 24 ohne dass ein Regler vorgesehen ist. Die Bezeichnungen der einzelnen Elemente entsprechen Fig. 2 und Fig. 3.

Die Wirkung des Zustandsvariablenfilter 23 soll anhand von Fig. 4 erläutert werden. Für den Zustandsvariablenfilter 23 sind folgende Größen relevant.

$y_w(t)$ = zeitlicher Sollwertverlauf, den die Ausgangsgröße annehmen soll. Dies entspricht beispielsweise dem Öffnungssignal,
 $y_t(t)$ = zeitlicher Verlauf, den die Ausgangsgröße physikalisch max. annehmen kann, und, dies entspricht beispielsweise dem angepassten Öffnungssignal
 $u(t)$ = Stellgröße $u(t)$ so dass $y(t) = y_t(t)$. Dies entspricht beispielsweise dem Vorsteuerungssignal bzw. dem Ansteuerungssignal

Ein PT1-Verhalten kann wie folgt beschrieben werden:

$$T_1 \cdot \frac{d}{dt}y(t) + y(t) = K \cdot u(t)$$

Die in den Fig. 2 bis 4 beschriebene Strecke wird für den hier behandelten Fall eines Ventils bzw. eines Ventilantriebs als zu regelnde Strecke in Fig. 5 kurz erläutert. Fig. 5 zeigt ein Diagramm der elektrischen Eigenschaften eines Ventilantriebs mit Widerstand R, Induktivität L, anliegender Spannung U und aus der Spannung resultierendem Strom i. Damit wird die Magnetspule des Ventilantriebs elektrisch beschrieben. Die Magnetventilspule kann wie in Fig. 5 dargestellt beschrieben werden. Somit ergibt sich folgende Differentialgleichung:

$$T_1 \cdot \frac{d}{dt}i(t) + i(t) = K \cdot u(t)$$

Nun will man $u(t)$ so wählen, dass sich das gewünschte Ausgangsverhalten einstellt. Somit benötigt man einen Block, der als Ausgang das gewünschte Signal $u(t)$ ausgibt um $y(t)$ zu erreichen. Dies wird durch einen Invertierer-Block erreicht, der als Ausgang $u(t)$ hat aber dafür $i(t)$ und $\frac{d}{dt}i(t)$ als Eingangsgrößen benötigt.

Die Darstellung von Strecke und Invertierer-Block ist in Fig. 6 dargestellt, wo die Vorsteuerung 17 mit dem Invertierer 22 und dem Zustandsvariablenfilter 23 nochmal dargestellt ist. Von dem Zustandsvariablenfilter 23 werden an den Invertierer 22 beispielsweise angepasste Öffnungssignale 27 weiter gegeben, die von dem Zustandsvariablenfilter 23 aus Öffnungssignalen 8 ermittelt wurden (Schritt b11). Der Invertierer 22 führt dann Schritt b2) durch.

Es ist nun erforderlich, für ein gewünschtes Ausgangsverhalten $y(t)$ die Eingangsgrößen $i(t)$ und $\frac{d}{dt}i(t)$ so zu berechnen, dass sich das Wunschverhalten einstellt bzw. dass die Einstellung des Wunschverhaltens überhaupt physikalisch möglich ist. Der Block, der dies leistet, ist der beschriebene Zustandsvariablenfilter 23, der auch als Signalgenerator bezeichnet werden kann. Der Zustandsvariablenfilter 23 hat als Eingang ein Signal $y_w(t)$ und berechnet die Ausgangsgrößen $i(t)$ und $\frac{d}{dt}i(t)$, so dass diese direkt in den oben genannten Invertierer-Block eingespeist werden kann.

Dieser Zustandsvariablenfilter 23 ist in Fig. 7 nochmal detaillierter dargestellt. Wenn die Regel-Strecke ein PT1-Verhalten aufweist, kann für den Zustandsvariablenfilter 23 auch ein PT1-Verhalten verwendet werden. Die Kreisverstärkung des Zustandsvariablenfilter 23 ist „1“, und die Dynamik des Verhaltens kann über eine Zeitkonstante des Zustandsvariablenfilter 23 „Tau_ZVF“ = „Zeitkonstante des Zustandsvariablenfilter“ festgelegt werden. Nun ist es im Regelfall so, dass die Stellgröße (in diesem Fall die Spannung im Fahrzeug) begrenzt ist. Berücksichtigt man diese Stellgrößenbegrenzung (also die maximal mögliche Spannung) direkt gleich im Zustandsvariablenfilter 23, so bewirkt dies eine Begrenzung der maximalen Gradienten des Stromes. Die maximal mögliche Spannung der maximal möglichen Gradienten können einen Vektor bilden, der hier als Ganzes als angepasstes Öffnungssignal 27 betrachtet wird. Grundsätzlich (in allen Ausführungsvarianten) kann das angepasste Öffnungssignal 27 ein Vektor sein, welcher mehrere Einzelgrößen betreffend

den Öffnungszustand des Ventils umfasst. Grundsätzlich (in allen Ausführungsvarianten) kann das Öffnungssignal 8 ebenfalls ein Vektor sein, welcher mehrere Einzelgrößen betreffend den Öffnungszustand des Ventils umfasst.

5

Fig. 8 zeigt eine weitere Ausführungsvariante eines Zustandsvariablenfilters 23, welcher aus dem Öffnungssignal 8 das angepasste Öffnungssignal 27 erzeugt. Bei dieser Variante eines Zustandsvariablenfilters 23 erfolgt eine Stellgrößenbegrenzung, die beispielsweise dem Zweck dient, physikalische Grenzen zu berücksichtigen. In Kombination des Zustandsvariablenfilter 23 mit dem Invertierer-Block bewirkt dies, dass die Stellgrößenbegrenzung maximal ausgenutzt werden kann.

10

Die Verwendung einer Ansteuerung zum Ansteuern eines Ventilantriebs mit Zustandsvariablenfilter 23 ergibt die in Fig. 9 und in Fig. 10 dargestellten Sprungantwortverhalten. Gemäß Fig. 9 und Fig. 10 ist das Antwortverhalten jeweils ohne Verwendung eines Reglers neben der Vorsteuerung simuliert. Zum Vergleich ist jeweils das Verhalten mit einem Regler (3) in den Diagrammen geplottet.

15

20

Die Abbildungen Fig. 9 und Fig. 10 zeigen die Ergebnisse eines Gesamtsystemverhaltens unter Verwendung des hier beschriebenen Ansteuerkonzeptes und des hier beschriebenen Regelverfahrens bestehend aus Zustandsvariablenfilter, Invertierer-Block und einer Strecke mit PT1-Verhalten.

25

Der obere Teilbereich der Diagramme in den Figuren zeigt jeweils das zeitliche Verhalten der Stellgröße 4 bei verschiedenen Zeitkonstanten des Zustandsvariablenfilters. Der untere Teilbereich der Diagramme in den Figuren zeigt die folgenden Signale:

30

- den Sollsprung (1), welcher als Vorgabewert auf das System bestehend aus Vorsteuerung und Strecke aufgegeben wird.
- den tatsächlichen Verlauf des Stromes (3), der sich als Antwort auf den Sollsprung (1) einstellt. Der Strom (3) wurde hier zum Vergleich der Dynamik geplottet und wurde mit einem Standard PI-Regler geregelt.
- der berechnete Verlauf des Ausgangsstromes (2), der durch Simulation des Systems aus Vorsteuerung und Strecke erreicht wird.

35

Fig. 9 und Fig. 10 zeigt die Darstellung von einer Sprungantwort mit verschiedenen Zeitkonstanten des Zustandsvariablenfilter ohne zusätzlichen Regler. Fig. 10 zeigt das gleiche Verhalten wie Fig. 9. Fig. 10 zeigt allerdings in einer gestreckten Darstellung ein das Startintervall des in Fig. 9 dargestellten Verhaltens im Detail.

Die Darstellung der Sprungantworten soll zeigen, dass mit einer reinen Vorsteuerung die gleiche Dynamik zum Zeitpunkt des Ansteuerns erreicht wird wie mit einem Ansteuerkonzept mit P-I-Regler, welcher sehr dynamisch ausgelegt ist. Die Kurvenverläufe 4 zeigen jeweils das simulierte Antwortverhalten mit einer Vorsteuerung. Die Kurvenverläufe 3 zeigen jeweils ein real gemessenes Antwortverhalten, welches mit einem PI-Regler erreicht werden kann.

Man sieht an den Simulationsergebnissen im unteren Plot, dass es möglich ist, durch eine entsprechende Vorsteuerung (Zustandsvariablenfilter und Invertierer der Strecke) die gleiche Dynamik zu erreichen, wie mit einem Regler üblichen Typs ohne Vorsteuerung, der sehr aggressiv ausgelegt ist. Dazu muss die Zeitkonstante am Zustandsvariablenfilter entsprechend gewählt werden. Der große Vorteil der Vorsteuerung ist hier allerdings, dass die vorgesteuerte Ausgangsgröße ohne Überschwinger den Sollwert einstellt. Dies kann mit einem konventionellen Regler mit dieser Geschwindigkeit nicht erreicht werden.

Zudem kann bei einem Konzept mit einer Vorsteuerung umfassend einen Zustandsvariablenfilter die Dynamik gezielt situativ gewählt/angepasst werden, so dass entweder sehr hohe Dynamik oder sehr geringe Dynamik vorgegeben werden kann. Das gezielte Einstellen einer geringen Dynamik kann zum Erreichen eines geräuschoptimiertem Schaltens von Vorteil sein.

Im oberen Plot der Fig 9 und der Fig. 10 sind verschiedene Stellgrößenverläufe 4 zu erkennen, die den Verlauf der Stellgröße bei verschiedenen Zeitkonstanten des Zustandsvariablenfilter zeigen. Hat der Zustandsvariablenfilter die gleiche Zeitkonstante wie die Strecke selbst, wird der Sprung am Eingang auch als Sprung am Ausgang ausgegeben, allerdings mit der entsprechenden Verstärkung welche für das Erreichen des Endwertes nötig ist (hier $u = R \cdot y_w$). Ist die Zeitkonstante des ZVF (mit Berücksichtigung der Stellerbegrenzung) kleiner als die Zeitkonstante der Strecke, so kann am oberen Plot erkannt

werden, dass die Stellgröße nahezu automatisch so lange wie benötigt auf dem Maximum des Stellers gehalten wird.

Das hier beschriebene Konzept der Vorsteuerung für Ventilansteuerungen kann insbesondere für Bremsregelsysteme verwendet werden. Bei Bremsregelsystemen ist es möglich, das Konzept insbesondere für folgende Zwecke zu nutzen:

- Ventilansteuerung mit reiner Vorsteuerung
- Ventilansteuerung mit Vorsteuerung und Regler (Regler optimiert für das Ausregeln der Regelabweichung bzw. Störgrößen)
- als Ventilansteuerung mit besonderen Anforderungen an den Stromverlauf (Trajektorienplanung des Stromes).

Darüber hinaus ist dieses Konzept in nahezu allen Anwendungen mit Magnetventilen einsetzbar. Es bietet sich insbesondere an, wenn die Anforderungen an die Zeitkonstante der Strecke hoch sind.

Zudem von Vorteil ist die zusätzliche Durchführung der weiter oben beschriebenen zusätzlichen Verfahrensschritte f) und g). umfassend die Rückführung des geschätzten bzw. berechneten Systemparameters (insbesondere des Systemparameters Widerstand). Durch diese zusätzlichen Schritte kann sichergestellt werden, dass sich je nach Auslegung des Beobachters der Widerstand innerhalb von wenigen Millisekunden adaptiert. Das bedeutet, dass eine Abweichung des Widerstandes bereits innerhalb eines ABS-Ansteuerzyklus ausgeglichen werden kann. Ein solcher Ansteuerungszyklus hat beispielsweise eine Länge von ca. 200 Millisekunden.

Eine linearisierte Umsetzung des dem hier beschriebenen Verfahren zu Grunde liegenden Konzepts in Hardware kann durch folgende Gleichungen beschrieben werden.

Schritt 1 berechnet die Soll-Trajektorie des Stromes.

$$I_{sollk} = I_0 + \frac{dt}{\tau_{ZVF}} \cdot (I_{soll} - I_0)$$

Schritt 2 berechnet die benötigte (Ansteuer-)Spannung für die Solltrajektorie des Stromes.

$$U_k = R \cdot \left(\frac{\tau_{LR}}{dt} \cdot (I_{sollk} - I_0) + I_0 \right)$$

5

Der Dritte Schritt limitiert die Spannung auf die maximal verfügbare Spannung

$$U_{lim} = \lim(\min, \max, U_k)$$

10

Der vierte Schritt berechnet nun den maximal möglichen Strom, welcher durch die Begrenzung der Spannung möglich ist.

$$I_{istk} = I_0 + \frac{dt}{\tau_{LR}} \cdot \left(\frac{U_{lim}}{R} - I_0 \right)$$

15

Da im realen Einsatz aufgrund Toleranzen und Bauteilstreuungen und natürlich auch durch Änderungen der Umgebungsbedingungen, welche nicht alle erfasst werden können, Abweichungen entstehen, empfiehlt sich eine Kombination aus Vorsteuerung und Regler, wie sie insbesondere in Fig. 3 auch dargestellt ist.

20

Der hier vorgestellte Regelansatz soll bei einer Ventilansteuerung, wie sie in vielen Anwendungen vorkommt, die Änderungen (Widerstand, Spannung, etc.), welche durch die Vorsteuerung nicht kompensiert werden können, ausregeln. Im ersten Ansatz wird eine Luenberger-Beobachter-Struktur verwendet, welche jedoch durch eine Widerstandsschätzung ergänzt wird.

25

Fig. 11 zeigt die übersichtliche Struktur von realer Strecke 24 umfassend das Ventil 5 und das Ventil 6 und daneben stehendem Ventilmodell 12, die durch diese Umsetzung in Hardware in einem Steuergerät 13 realisiert ist. Das Ventilmodell 12 kann auch durch einen sogenannten Beobachter ergänzt werden, der die reale Strecke 24 permanent überwacht und das Ventilmodell 12 und die reale Strecke 24 in Übereinstimmung bringt. Der Beobachter dient dazu, das Verhalten der Strecke 24, bzw. des Ventils 5 bzw. des Ventilantriebs 6 zu beobachten. Der Beobachter ist mit in dem Ventilmodell 12 realisiert.

30

Im ersten Schritt wird die Stromabweichung als Widerstandsabweichung interpretiert, die Korrekturgröße und Einheit ist im Verstärker-Gain K_{Observ} enthalten. Im Anschluss wird das ΔR integriert und der Term $R + \Delta R$ gebildet. Nun wird im weiteren durch geschickte Umformung daraus ein $\frac{di}{dt}$ berechnet welches dann in den Beobachter mit einfließt.

Schritt 1:

$$\frac{R + \Delta R}{L}$$

Schritt 2:

$$\frac{R + \Delta R}{L} \cdot I = \frac{R + \Delta R}{L} \cdot \frac{U}{R + \Delta R}$$

Schritt 3:

$$\frac{R + \Delta R}{L} \cdot \frac{U}{R + \Delta R} = \frac{U}{L} = \frac{di}{dt}$$

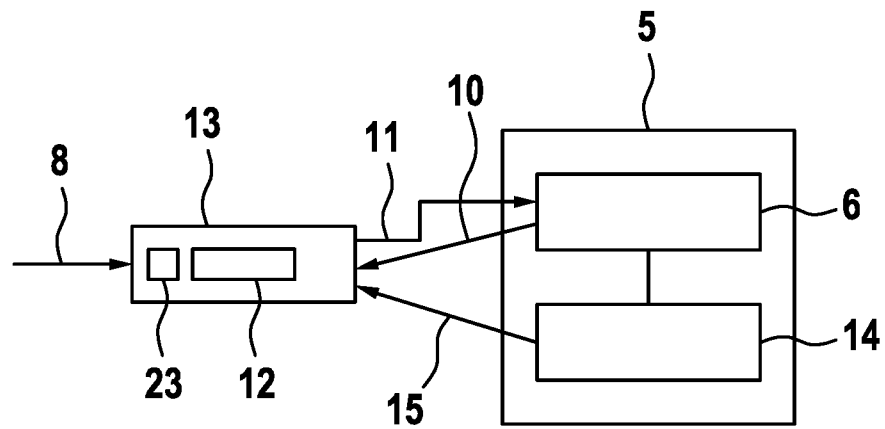
Ansprüche

- 5 1. Verfahren zum Ansteuern eines Ventils (5) mit einem elektromagnetischen Ventilantrieb (6), durch welchen elektrischer Strom (7) geleitet wird, um das Ventil (5) zu öffnen, zu schließen oder es in einer geöffneten oder geschlossenen Stellung zu halten, aufweisend zumindest die folgenden Schritte:
- 10 a) Empfangen eines Öffnungssignals (8),
b1) Ermitteln eines angepassten Öffnungssignals (27), welches an physikalische Grenzen des Ventils oder des Ventilantriebs angepasst ist, und
b2) Ermitteln eines Vorsteuerungssignals (9) zur Vorsteuerung eines elektrischen Stroms zum Antrieb eines elektrischen Ventilantriebs zum Öffnen des Ventils in Reaktion auf das angepasste
15 Öffnungssignal (27).
c) Berechnen eines Ansteuerungssignals (11) zur Ansteuerung des Ventilantriebs unter Verwendung des Vorsteuerungssignals (9) , und
20 d) Ausgabe des Ansteuerungssignals (11).
2. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend folgenden Schritt:
b3) Empfangen eines elektrischen Stromsignals (10), welches einen elektrischen Strom durch den Ventilantrieb (6) repräsentiert,
25 wobei in Schritt c) bei der Berechnung des Ansteuerungssignals (11) zusätzlich das in Schritt b3) empfangene Stromsignal verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Vorsteuerungssignals (9) mit einem Ventilmodell (12) ermittelt wird.
30
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei das Ventilmodell ein Verzögerungsverhalten erster Ordnung des Ventils modelliert.
5. Verfahren nach einem Ansprüche 3 und 4, wobei eine Zeitkonstante des Ventilmodells (12) mit einer Zeitkonstante des Ventilantriebs (6)
35 übereinstimmt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, wobei in dem Ventilmodell (12) ein elektrischer Widerstand des Ventilantriebs geschätzt wird.
- 5 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, wobei in dem Ventilmodell (12) eine Induktivität des Ventilantriebs geschätzt wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei in Schritt c) eine Vorsteuerung (17) und ein Regler (18) genutzt werden, um das Ansteuerungssignal (11) zu bestimmen.
- 10 9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei in der Vorsteuerung (17) ein inverses PT1-Element (22) angewendet wird.
- 15 10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, wobei in der Vorsteuerung (17) ein Zustandsvariablenfilter (23) angewendet wird.
11. Steuergerät (13) zur Ansteuerung eines Ventils (5) mit einem elektrischen Ventilantrieb (6), welches zur Durchführung des beschriebenen Verfahrens eingerichtet ist.
- 20 12. Computerprogramm, welches eingerichtet ist, das Verfahren beziehungsweise alle Schritte des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche auszuführen.
- 25 13. Maschinenlesbares Speichermedium, auf dem das Computerprogramm nach Anspruch 12 gespeichert ist.

1 / 8

Fig. 1



2 / 8

Fig. 2

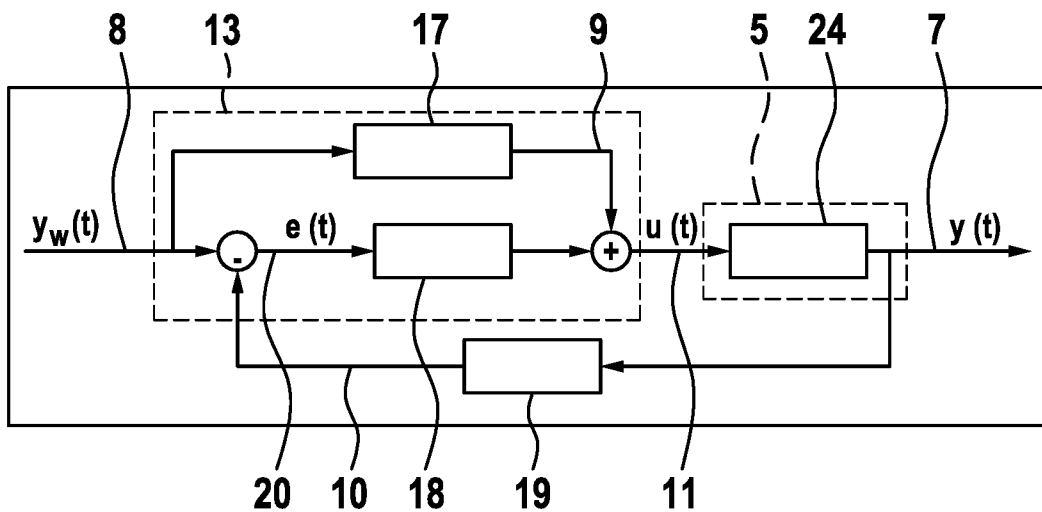
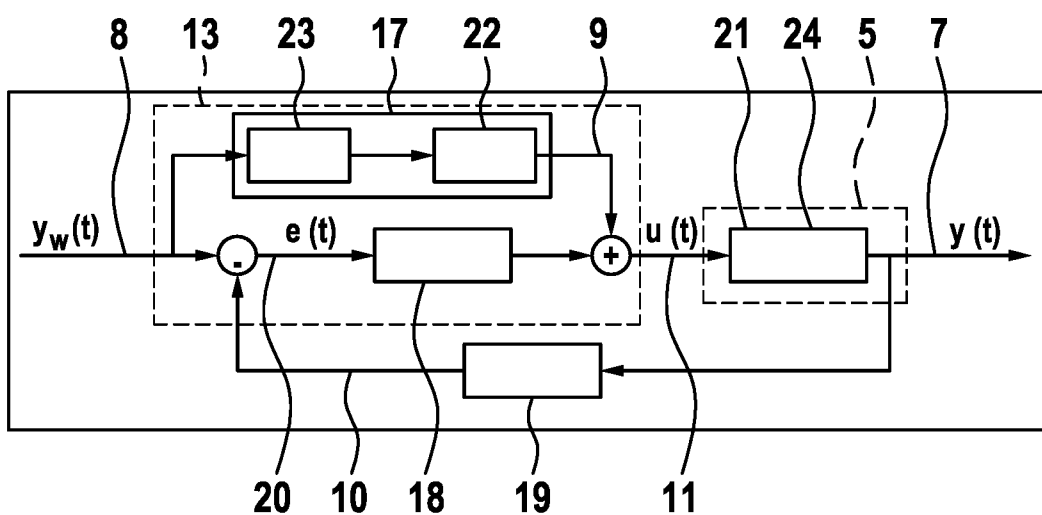


Fig. 3



3 / 8

Fig. 4

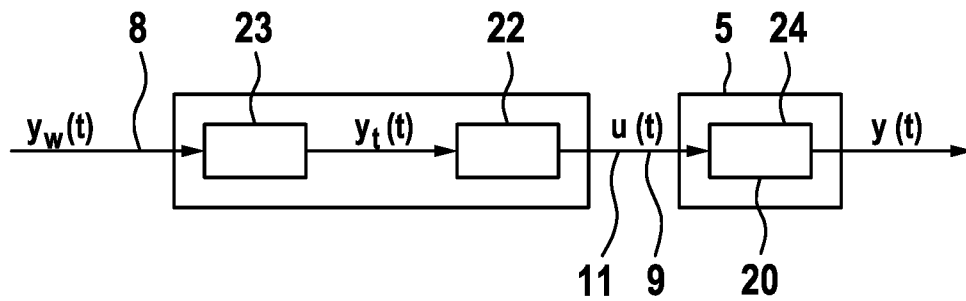


Fig. 5

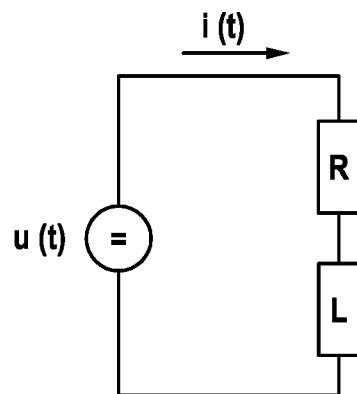


Fig. 6

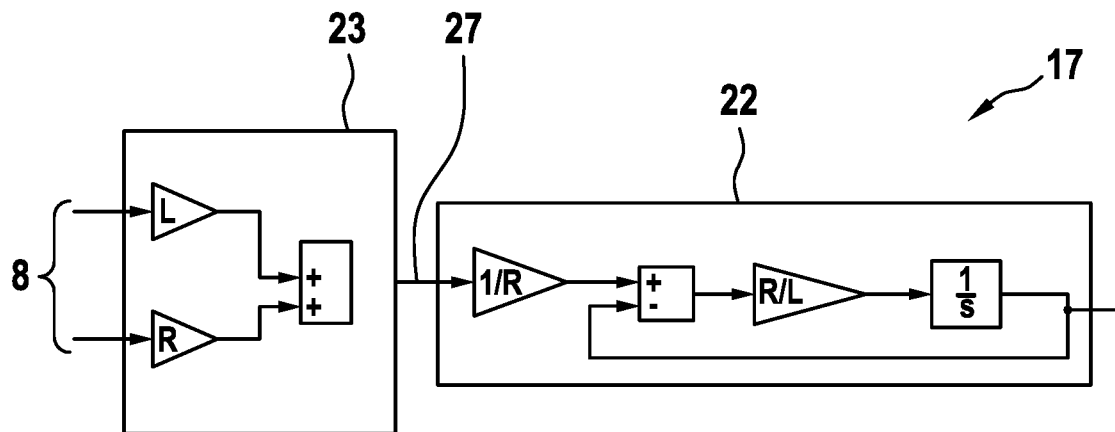


Fig. 7

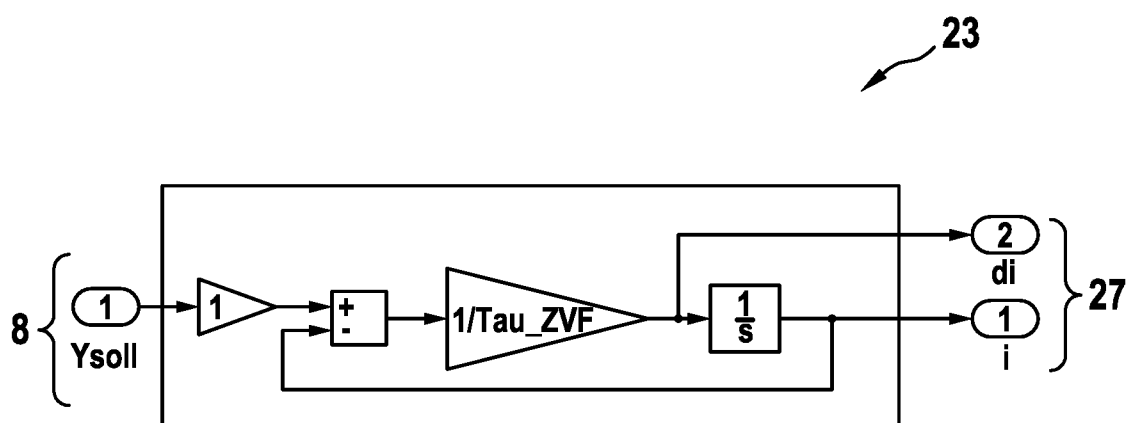


Fig. 8

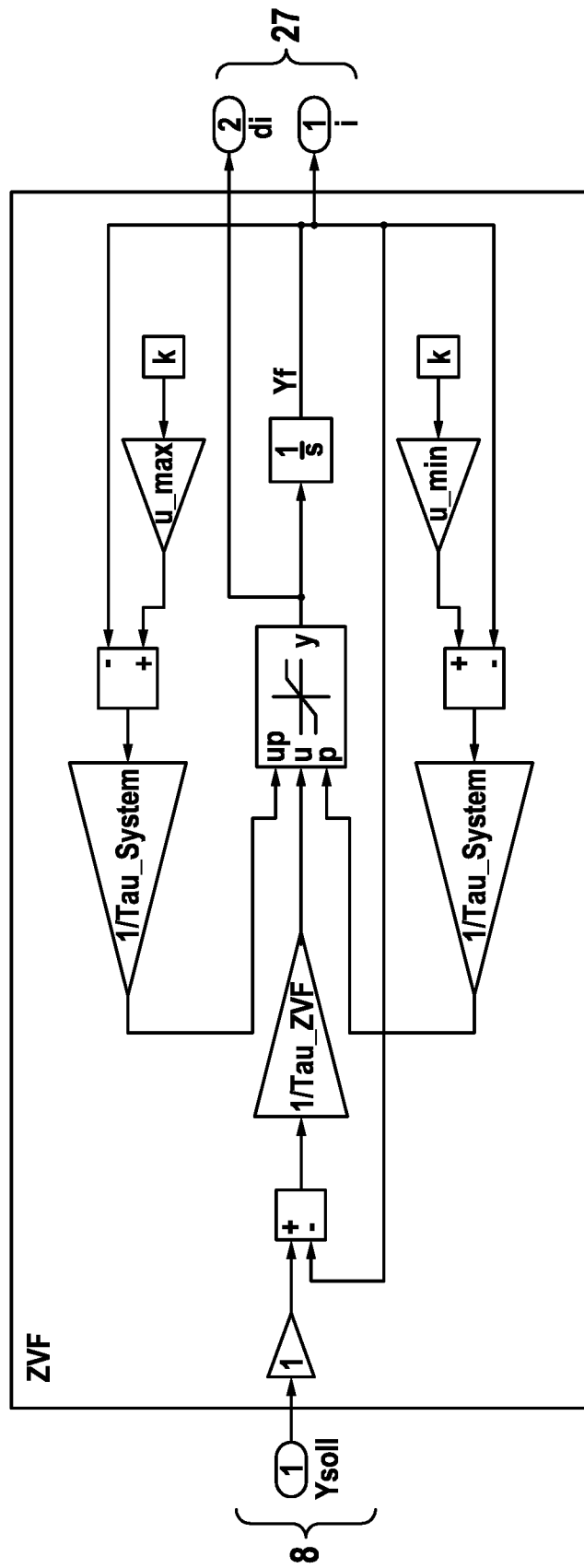
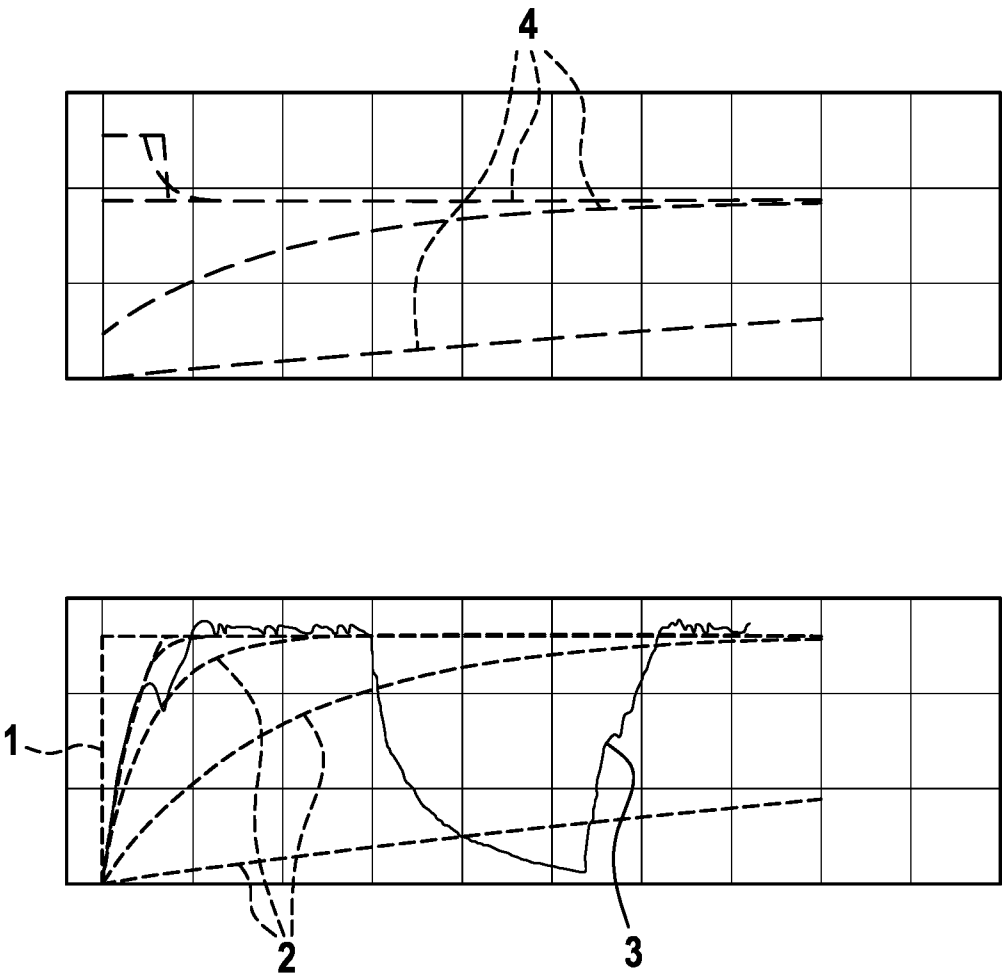


Fig. 9



7 / 8

Fig. 10

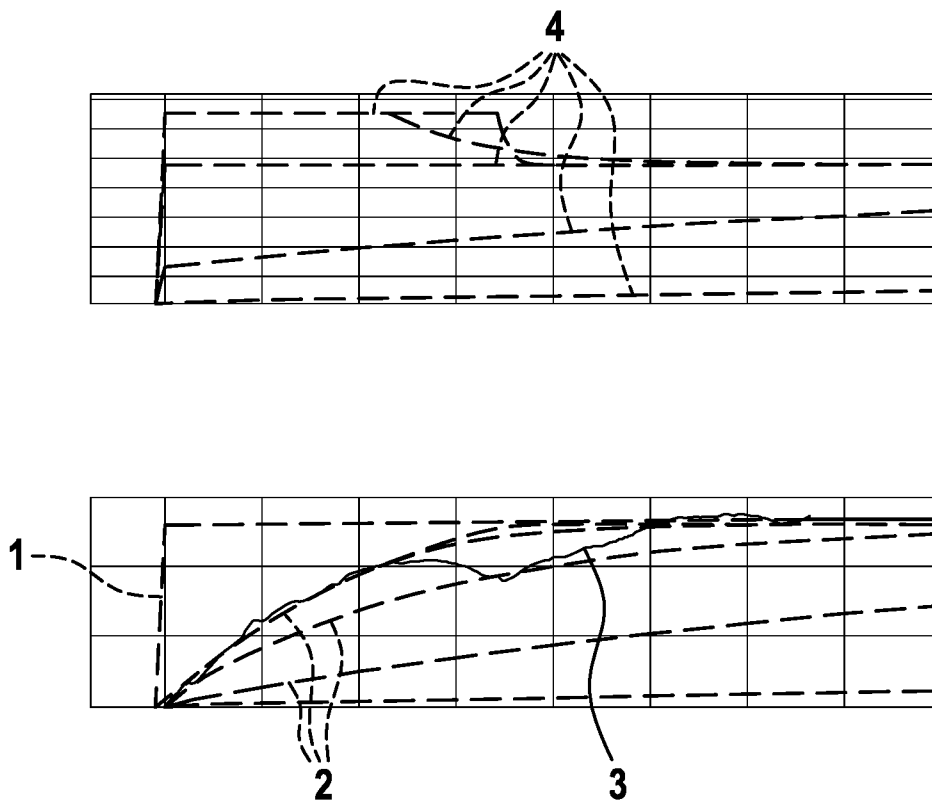
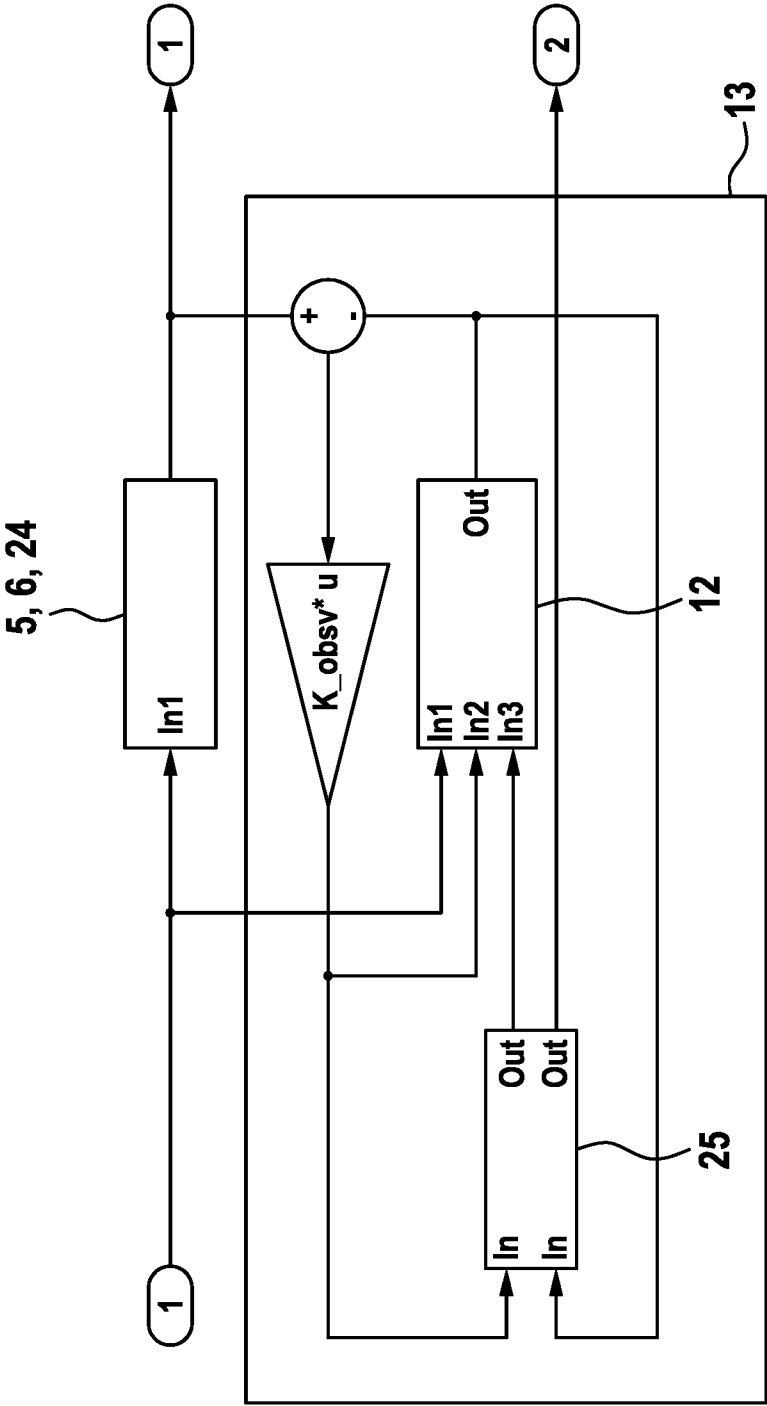


Fig. 11



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2019/058591

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B60T8/36 H01F7/18
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
B60T H01F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	GB 2 439 433 A (HUSCO INT INC [US]) 27 December 2007 (2007-12-27)	1,3,8, 11-13
A	paragraph [0029] - paragraph [0034]; figure 4	2,4-7,9, 10
A	----- WO 2010/005601 A2 (MKS INSTR INC [US]; DING JUNHUA [US]) 14 January 2010 (2010-01-14) figure 2	1-13
A	----- US 2007/139852 A1 (REUTER JOHANNES W [US]) 21 June 2007 (2007-06-21) the whole document -----	1-13



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

22 August 2019

Date of mailing of the international search report

30/08/2019

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Graniou, Marc

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2019/058591

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
GB 2439433	A	27-12-2007	DE 102007028144 A1	14-02-2008
			GB 2439433 A	27-12-2007
			JP 2008025831 A	07-02-2008
			US 2008042087 A1	21-02-2008

WO 2010005601	A2	14-01-2010	DE 112009001473 T5	12-05-2011
			GB 2474378 A	13-04-2011
			JP 5308520 B2	09-10-2013
			JP 2011524589 A	01-09-2011
			KR 20110015692 A	16-02-2011
			US 2010036534 A1	11-02-2010
			WO 2010005601 A2	14-01-2010

US 2007139852	A1	21-06-2007	AU 2007331123 A1	19-06-2008
			CN 101595538 A	02-12-2009
			EP 2102875 A1	23-09-2009
			KR 20090089458 A	21-08-2009
			US 2007139852 A1	21-06-2007
			WO 2008072096 A1	19-06-2008

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. B60T8/36 H01F7/18
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 B60T H01F

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	GB 2 439 433 A (HUSCO INT INC [US]) 27. Dezember 2007 (2007-12-27)	1,3,8, 11-13
A	Absatz [0029] - Absatz [0034]; Abbildung 4	2,4-7,9, 10
A	----- WO 2010/005601 A2 (MKS INSTR INC [US]; DING JUNHUA [US]) 14. Januar 2010 (2010-01-14) Abbildung 2	1-13
A	----- US 2007/139852 A1 (REUTER JOHANNES W [US]) 21. Juni 2007 (2007-06-21) das ganze Dokument	1-13



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

22. August 2019

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

30/08/2019

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Graniou, Marc

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/058591

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
GB 2439433	A	27-12-2007	DE 102007028144 A1	14-02-2008
			GB 2439433 A	27-12-2007
			JP 2008025831 A	07-02-2008
			US 2008042087 A1	21-02-2008

WO 2010005601	A2	14-01-2010	DE 112009001473 T5	12-05-2011
			GB 2474378 A	13-04-2011
			JP 5308520 B2	09-10-2013
			JP 2011524589 A	01-09-2011
			KR 20110015692 A	16-02-2011
			US 2010036534 A1	11-02-2010
			WO 2010005601 A2	14-01-2010

US 2007139852	A1	21-06-2007	AU 2007331123 A1	19-06-2008
			CN 101595538 A	02-12-2009
			EP 2102875 A1	23-09-2009
			KR 20090089458 A	21-08-2009
			US 2007139852 A1	21-06-2007
			WO 2008072096 A1	19-06-2008
