

(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  
27. Dezember 2013 (27.12.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2013/189589 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation:  
*G01F 1/84* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/001792
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
18. Juni 2013 (18.06.2013)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
10 2012 011 935.6 18. Juni 2012 (18.06.2012) DE  
10 2012 011 934.8 18. Juni 2012 (18.06.2012) DE
- (71) Anmelder: **KROHNE MESSTECHNIK GMBH**  
[DE/DE]; Ludwig-Krohne-Straße 5, 47058 Duisburg (DE).
- (72) Erfinder: **KOLAHİ, Kourosh**; Tonhallenstraße 59, 47051  
Duisburg (DE). **STORM, Ralf**; Manfredstraße 14, 45131  
Essen (DE). **POREMBÄ, Andreas**; Hardtweg 36, 42107  
Wuppertal (DE).
- (74) Anwalt: **GESTHUYSEN PATENT- UND  
RECHTSANWÄLTE**; Huysseallee 100, 45128 Essen  
(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, DK,  
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,  
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP,  
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,  
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,  
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,  
RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ,  
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,  
ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,  
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, 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,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR OPERATING A RESONANT MEASUREMENT SYSTEM

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES RESONANZMESSSYSTEMS

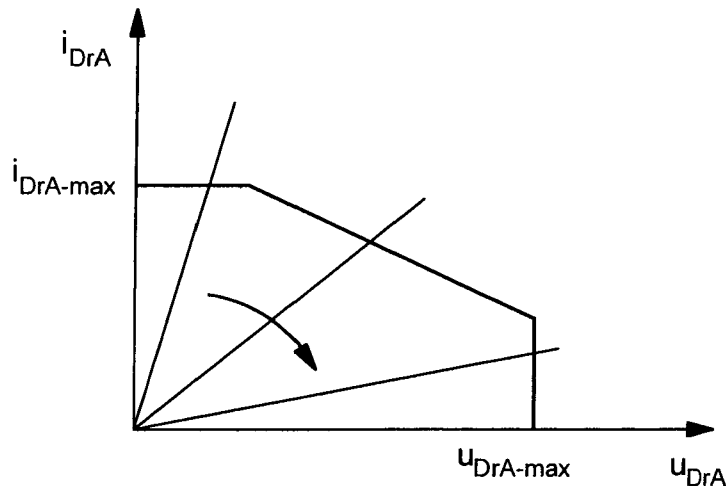


Fig. 8

(57) Abstract: Disclosed is a method for operating a resonant measurement system (1), in particular a Coriolis mass flow meter. Said resonant measurement system (1) comprises at least one electric actuation device (3), at least one electromagnetic drive (4) as a vibration generator, and at least one vibrating element (5) interacting with a medium. The electric actuation device (3) provides an electric excitation signal ( $u_2$ ) to excite the electromagnetic drive (4), and the electromagnetic drive (4) excites the vibrating element (5) to make the same vibrate in at least one normal mode. In order to excite the resonant measurement system (1) in the linear operating range, the driving terminal current  $i_{DrA}$  triggered by the electric excitation signal  $u_2$  and the driving terminal voltage  $u_{DrA}$  of the electromagnetic drive (4) triggered by the electric excitation signal  $u_2$  are acquired in a measuring process, the driving power  $S_{DrA}$  is determined from the driving terminal current  $i_{DrA}$  and the driving terminal voltage  $u_{DrA}$ , and if the driving terminal current  $i_{DrA}$  exceeds a given maximum driving terminal current  $i_{DrA-max}$ , and/or if the driving terminal voltage  $u_{DrA}$

exceeds a given maximum driving terminal voltage  $u_{DrA-max}$ , and/or if the driving power  $S_{DrA}$  exceeds a given maximum driving power  $S_{DrA-max}$ , the electric excitation signal  $u_2$  is limited to a threshold value  $u_{2-B}$  in such a way that the driving terminal current  $i_{DrA}$  remains below the given maximum driving terminal current  $i_{DrA-max}$ , and/or the driving terminal voltage  $u_{DrA}$  remains below the given maximum driving terminal voltage  $u_{DrA-max}$ , and/or the driving power  $S_{DrA}$  remains below the maximum driving power  $S_{DrA-max}$ .

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2013/189589 A1



SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

---

Beschrieben und dargestellt ist ein Verfahren zum Betreiben eines Resonanzmesssystems (1), insbesondere eines Coriolis-Massedurchflussmessgeräts, wobei das Resonanzmesssystem (1) wenigstens eine elektrische Stelleinrichtung (3), wenigstens einen elektromagnetischen Antrieb (4) als Schwingungserzeuger und wenigstens ein mit einem Medium wechselwirkendes Schwingelement (5) umfasst, die elektrische Stelleinrichtung (3) ein elektrisches Anregungssignal ( $u_2$ ) zur Anregung des elektromagnetischen Antriebs (4) bereitstellt und der elektromagnetische Antrieb (4) das Schwingelement (5) zur Schwingung in wenigstens einer Eigenform anregt. Eine Anregung des Resonanzmesssystems (1) im linearen Betriebsbereich wird dadurch erzielt, dass der durch das elektrische Anregungssignal  $u_2$  bewirkte Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  und die durch das elektrische Anregungssignal  $u_2$  bewirkte Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  des elektromagnetischen Antriebs (4) durch Messung erfasst werden, aus dem Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  und der Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  die Antrieb-Leistung  $S_{DrA}$  bestimmt wird, wobei bei Überschreitung eines vorgegebenen maximalen Antrieb-Klemmenstroms  $i_{DrA-max}$  durch den Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  und/oder bei Überschreitung einer vorgegebenen maximalen Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA-max}$  durch die Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  und/oder bei Überschreitung einer vorgegebenen maximalen Antrieb-Leistung  $S_{DrA-max}$  durch die Antrieb-Leistung  $S_{DrA}$  das elektrische Anregungssignal  $u_2$  so auf einen Schrankenwert  $U_{2-B}$  beschränkt wird, dass der Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  unterhalb des vorgegebenen maximalen Antrieb-Klemmenstroms  $i_{DrA-max}$  und/oder die Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  unterhalb der vorgegebenen maximalen Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA-max}$  und/oder die Antrieb-Leistung  $S_{DrA}$  unterhalb der maximalen Antrieb-Leistung  $S_{DrA-max}$  bleibt.

### **Verfahren zum Betreiben eines Resonanzmesssystems**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Resonanzmesssystems, insbesondere eines Coriolis-Massedurchflussmessgeräts, wobei das Resonanzmesssystem wenigstens eine elektrische Stelleinrichtung, wenigstens  
5 einen elektromagnetischen Antrieb als Schwingungserzeuger und wenigstens ein mit einem Medium wechselwirkendes Schwingelement umfasst, die elektrische Stelleinrichtung ein elektrisches Anregungssignal zur Anregung des elektromagnetischen Antriebs bereitstellt und der elektromagnetische Antrieb  
10 das Schwingelement zur Schwingung in wenigstens einer Eigenform anregt.

Resonanzmesssysteme der vorgenannten Art sind seit vielen Jahren bekannt, nicht nur in Form von Coriolis-Massedurchflussmessgeräten, sondern auch als Dichtemessgeräte oder Füllstandwächter nach dem Stimmgabel-Prinzip, als  
15 Quarzwagen und Bandviskosimeter u.a.m. Diese Resonanzmesssysteme stehen mit einem Prozess/Prozessmedium in Verbindung, wobei sich Prozess und Prozessmedium und Resonanzmesssystem wechselseitig beeinflussen.

Im Folgenden werden Resonanzmesssysteme am Beispiel von Coriolis-Massedurchflussmessgeräten behandelt, was nicht einschränkend zu verstehen ist. Es spielt keine Rolle, ob es sich um Coriolis-Massedurchflussmessgeräte mit einem oder mehreren Messrohren, mit geraden oder gebogenen Messrohren handelt. Als Resonanzmesssysteme werden vorliegend ganz allgemein solche Systeme bezeichnet, bei denen Informationen über die zu bestimmenden Prozessgrößen (Messgrößen) in den Eigenfrequenzen verschlüsselt sind  
20 und/oder solche Systeme, bei denen Arbeitspunkte auf die Eigenfrequenzen des Messsystems gelegt werden. Auf alle unter diese Definition fallenden Systeme sind die nachfolgenden Ausführungen anwendbar. Bei Coriolis-Massedurchflussmessgeräten entspricht das Messrohr dem Schwingelement  
25 des Resonanzmesssystems; auch diese besondere Ausgestaltung des Schwingelements stellt keine Einschränkung für die allgemein auf Resonanzmesssysteme anwendbare Lehre dar.

Als Coriolis-Massedurchflussmessgeräte ausgebildete Resonanzmesssysteme  
35 werden vor allem in der industriellen Prozessmesstechnik dort eingesetzt, wo

mit hoher Genauigkeit Masseströme bestimmt werden müssen. Die Funktionsweise von Coriolis-Massedurchflussmessgeräten beruht darauf, dass wenigstens ein von einem Medium durchströmtes Messrohr – das Schwingelement – von einem Schwingungserzeuger zu einer Schwingung angeregt wird, wobei dieser Schwingungserzeuger ein elektromagnetischer Antrieb ist. Bei einem solchen elektromagnetischen Antrieb wird üblicherweise eine Spule von einem elektrischen Strom durchflossen, wobei mit dem Spulenstrom unmittelbar eine Kraftwirkung auf das Schwingelement verbunden ist. Bei Coriolis-Massedurchflussmessgeräten beruht die Funktionsweise darauf, dass das massebehaftete Medium aufgrund der durch zwei orthogonale Bewegungen – die der Strömung und die des Messrohres – hervorgerufene Coriolis-Trägheitskraft auf die Wandung des Messrohres rückwirkt. Diese Rückwirkung des Mediums auf das Messrohr führt zu einer Änderung der Messrohrschwingung im Vergleich zu dem undurchströmten Schwingungszustand des Messrohres. Durch Erfassung dieser Besonderheiten der Schwingungen des durchströmten Coriolis-Messrohres kann der Massedurchfluss durch das Messrohr mit hoher Genauigkeit bestimmt werden.

Von besonderer Bedeutung sind die Eigenfrequenzen des Coriolis-Massedurchflussmessgeräts bzw. der schwingfähigen Teile des Coriolis-Massedurchflussmessgeräts, im Wesentlichen also die Eigenfrequenzen des Messrohres als Schwingelement, weil die Arbeitspunkte des Coriolis-Massedurchflussmessgeräts üblicherweise auf Eigenfrequenzen des Messrohres gelegt werden, um die erforderlichen Schwingungen für die Induktion der Corioliskräfte mit einem minimalen Energieaufwand einprägen zu können. Die dann von dem Messrohr ausgeführten Schwingungen weisen eine bestimmte Form auf, die als Eigenform der jeweiligen Anregung bezeichnet wird. Ein weiterer Grund für die besondere Bedeutung von Eigenfrequenzen bei Coriolis-Massedurchflussmessgeräten ist die unmittelbare physikalische Verknüpfung zwischen der Eigenfrequenz des durchströmten Messrohres und der effektiv ausgelenkten Schwingmasse (Messrohr und Masse des Mediums im Messrohr); über diesen Zusammenhang kann die Dichte des Mediums bestimmt werden.

Aus dem Stand der Technik ist bekannt, dass zur Anregung des Schwingelements von einem Regler ein harmonisches Basissignal als Reglerausgangssig-

nal in Form einer sinusförmigen Spannung erzeugt wird und diese sinusförmige Spannung die elektrische Stelleinrichtung ansteuert, wobei die elektrische Stelleinrichtung die Aufgabe hat, an ihrem Ausgang eine entsprechende Leistung zur Verfügung zu stellen, um den elektromagnetischen Antrieb in geeigneter Weise und mit ausreichender Leistung ansteuern zu können; die elektrische Stelleinrichtung ist damit praktisch das leistungsmäßige Bindeglied zwischen dem Regler und dem elektromagnetischen Antrieb des Resonanzmesssystems. Üblicherweise sind bekannte Coriolis-Massedurchflussmessgeräte auch mit einem Schwingungsaufnehmer ausgestattet, mit dem die Schwingung des Schwingelements erfasst wird, denn in der Schwingung des mit einem Medium wechselwirkenden Schwingelements liegt üblicherweise die interessierende physikalische Information über das Medium, beispielsweise der Durchfluss, die Dichte und die Viskosität.

Bei Resonanzmesssystemen ist in der industriellen Praxis die zur Verfügung stehende elektrische Leistung aus verschiedenen Gründen häufig beschränkt. Ein Grund für eine solche Beschränkung kann beispielsweise darin liegen, dass das Resonanzmesssystem für die Zündschutzart "Eigensicherheit" ausgelegt ist. Daraus ergeben sich Stellgrößenbeschränkungen, die beim Anfahren und Halten vorbestimmter Arbeitspunkte zu Begrenzungen des elektrischen Anregungssignals führen und damit zu Nichtlinearitäten führen.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass die beispielsweise durch Stellgrößenbeschränkungen hervorgerufenen Nichtlinearitäten zu unerwünschten multifrequenten Anregungen des Resonanzmesssystems führen. Beispielsweise wird die Belastung des Resonanzmesssystems bei Messung mehrphasiger Strömungen oder hochviskoser Materialien so groß, dass Begrenzungen in der Antriebskette und insbesondere in der elektrischen Stelleinrichtung wirksam werden. Dadurch wird das Resonanzmesssystem nicht nur bei vorbestimmten Frequenzen angeregt, sondern auch bei vielen unerwünschten Frequenzen. Dies ändert den Arbeitspunkt (Schwingungsform) und damit auch die Eigenschaften des Resonanzmesssystems wie Nullpunkt und Empfindlichkeit, es erhöht das Messrauschen, verringert die Genauigkeit der Auswertung der Messsignale und vergrößert die Messunsicherheit der Messwerte.

Ein weiteres Problem hinsichtlich der Leistungsaufnahme des Resonanzmesssystems und damit der Höhe der elektrischen Anregungssingale kann darin begründet sein, dass das Resonanzmesssystem in verschiedenen vorbestimmten Betriebsarten betrieben werden soll, bei denen bestimmte Baugruppen einen großen Leistungsbedarf haben, so dass der "normale" Messbetrieb aus leistungstechnischen Gründen nicht aufrecht erhalten werden kann. Beispielsweise kann der Leistungsbedarf in einem Diagnose-Betrieb des Schwingelements so hoch sein, dass die Antriebsleistung für den Messbetrieb zu reduzieren ist.

Zur Beeinflussung der Leistungsaufnahme ist bekannt, bestimmte Funktionen des Resonanzmesssystems nur sequenziell auszuführen, so dass der momentane Leistungsbedarf eine vorbestimmte Größe nicht überschreitet. Beispielsweise kann das Antreiben der Messrohre eines Coriolis-Massedurchflussmessgeräts beim Senden der Messdaten ausgesetzt werden, was beispielsweise bei Zwei-Leiter-Resonanzmesssystemen von Bedeutung ist.

Bei vielen aus dem Stand der Technik bekannten Resonanzmesssystemen wird die Leistungsbeschränkung und damit auch die Stellgrößenbeschränkung einfach ignoriert. Diese Vorgehensweise führt jedoch zu undefinierten Zuständen des Resonanzmesssystems und damit zu großen Messunsicherheiten. Ein undefinierter Zustand liegt beispielsweise vor, wenn das Schwingelement zusätzlich zu bekannten und beabsichtigten Anregungen auch mit Signalen unbekannter Frequenz in unbeabsichtigten Eigenformen angeregt wird. Dadurch wird der vorbestimmte Arbeitspunkt unsicher; beispielsweise ist dann bei einem Coriolis-Massedurchflussmessgerät die beabsichtigte definierte Impulsänderung der strömenden Masseteilchen nicht möglich.

Unsicherheiten im Arbeitspunkt bewirken dann auch Modellunsicherheiten bei der Auswertung der Antwortsingale des Schwingelements und damit auch weitere Messunsicherheiten bei den Messergebnissen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zum Betreiben eines Resonanzmesssystems anzugeben, bei dem ein Betrieb des Reso-

nanzmesssystems im linearen Bereich auch bei sich verändernden Randbedingungen und Leistungsanforderungen gewährleistet ist.

Die zuvor hergeleitete und aufgezeigte Aufgabe wird bei dem zuvor aufgezeigten bekannten Verfahren dadurch gelöst, dass der durch das elektrische Anregungssignal  $u_2$  bewirkte Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  und die durch das elektrische Anregungssignal  $u_2$  bewirkte Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  des elektromagnetischen Antriebs durch Messung erfasst werden, aus dem Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  und der Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  die Antrieb-Leistung  $S_{DrA}$  bestimmt wird, wobei bei Überschreitung eines vorgegebenen maximalen Antrieb-Klemmenstroms  $i_{DrA-max}$  durch den Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  und/oder bei Überschreitung einer vorgegebenen maximalen Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA-max}$  durch die Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  und/oder bei Überschreitung einer vorgegebenen maximalen Antrieb-Leistung  $S_{DrA-max}$  durch die Antrieb-Leistung  $S_{DrA}$  das elektrische Anregungssignal  $u_2$  so auf einen Schrankenwert  $u_{2-B}$  beschränkt wird, dass der Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  unterhalb des vorgegebenen maximalen Antrieb-Klemmenstroms  $i_{DrA-max}$  und/oder die Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  unterhalb der vorgegebenen maximalen Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA-max}$  und/oder die Antrieb-Leistung  $S_{DrA}$  unterhalb der maximalen Antrieb-Leistung  $S_{DrA-max}$  bleibt.

Die dem erfindungsgemäßen Verfahren zugrunde liegende Idee beruht also zunächst auf der messtechnischen Erfassung der Klemmengrößen des elektromagnetischen Antriebs, die einen Eindruck von der Lastsituation des Resonanzmesssystems vermitteln, im Falle eines Coriolis-Massedurchflussmessgeräts auch einen Eindruck vermitteln von der Belastung des elektromagnetischen Antriebs selbst (Spule, Dauermagnet und Wirbelströme), den Messrohren und dem durch die Messrohre strömenden Medium. Die Klemmengrößen des elektromagnetischen Antriebs geben wieder, wie die elektrische Stelleinrichtung elektrisch belastet ist. Durch die fortwährende Messung der Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  und des Antrieb-Klemmenstroms  $i_{DrA}$  wird grundsätzlich die Möglichkeit geschaffen, ein auch veränderliches Lastverhalten des Resonanzmesssystems zu detektieren.

Sobald erkannt wird, dass das Resonanzmesssystem in einen Begrenzungszustand gerät, also der Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  einen vorgegebenen maximalen Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA-max}$  überschreitet oder die Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  die vorgegebene maximale Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA-max}$  überschreitet oder aber die momentane Antrieb-Leistung  $S_{DrA}$  die vorgegebene maximale Antrieb-Leistung  $S_{DrA-max}$  überschreitet, wird das Anregungssignal  $u_2$  auf einen Schrankenwert  $u_{2-B}$  beschränkt, so dass eine Überschreitung der Antrieb-Klemmengrößen oder der Antrieb-Leistung nicht erfolgt. Durch die Reduzierung des elektrischen Anregungssignals  $u_2$  wird also gerade verhindert, dass eine der faktisch gegebenen Begrenzungen erreicht wird.

In einer bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, dass aus dem gemessenen Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  und aus der gemessenen Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  der komplexe Lastleitwert  $G$  oder der komplexe Lastwiderstand  $Z$  bestimmt wird, mit dem die elektrische Stelleinrichtung belastet wird, und dass anhand des komplexen Lastleitwerts  $G$  und/oder anhand des komplexen Lastwiderstands  $Z$  der Schrankenwert  $u_{2-B}$  für das elektrische Anregungssignal  $u_2$  bestimmt wird. Durch die zeitliche Messung des Antrieb-Klemmenstroms  $i_{DrA}$  und der Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  lässt sich der Lastleitwert  $G$  oder der Lastwiderstand  $Z$  nach Betrag und Phase bestimmen, mit anderen Worten, es lassen sich der komplexe Lastleitwert  $G$  bzw. der komplexe Lastwiderstand  $Z$  bestimmen, was für den üblichen Fall der harmonischen Anregung des Resonanzmesssystems von Interesse ist.

In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, dass die Beschränkung des elektrischen Anregungssignals  $u_2$  auf den Schrankenwert  $u_{2-B}$  erfolgt, indem einer Amplitudenregelung zur Regelung der Amplitude des Schwingelements, ein angepasster, insbesondere geringerer Sollwert für die Amplitude vorgegeben wird.

Im Einzelnen gibt es nun verschiedene Möglichkeiten, das erfindungsgemäße Verfahren auszugestalten und weiterzubilden. Dazu wird verwiesen auf die dem Patentanspruch 1 nachgeordneten Patentansprüche und auf die Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele in Verbindung mit der Zeichnung. In der Zeichnung zeigen

- Fig. 1 ein erstes Beispiel für eine nichtlineare Anregung eines Resonanzmesssystems,
- 5 Fig. 2 ein weiteres Beispiel für den nichtlinearen Betrieb eines Resonanzmesssystems,
- Fig. 3 ein weiteres Beispiel für die nichtlineare Anregung eines Resonanzmesssystems,
- 10 Fig. 4 die bei Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens erzielte gewünschte lineare Betrieb eines Resonanzmesssystems,
- Fig. 5 schematisch die Struktur eines Resonanzmesssystems in Form eines Coriolis-Massedurchflussmessgeräts, wie es aus dem Stand der Technik bekannt ist, wie es aber auch für das erfindungsgemäße Verfahren Verwendung finden kann,
- 15 Fig. 6 das Ersatzschaltbild des mathematischen Modells eines elektromagnetischen Antriebs und eines gekoppelten Schwingelements in Form eines Messrohres,
- 20 Fig. 7 ein Ausführungsbeispiel des beanspruchten Verfahrens zum Betrieb eines Resonanzmesssystems in Blockschaltbilddarstellung und
- 25 Fig. 8 eine schematische Darstellung des Verhaltens von Antrieb-Klemmenspannung und Antrieb-Klemmenstrom bei Strom-, Spannungs- und Leistungsbegrenzung.
- 30 In Fig. 5 ist zunächst ein Resonanzmesssystem 1 dargestellt, das mit den beanspruchten und im Folgenden im Detail beschriebenen Verfahren betrieben wird. Anhand von Fig. 5 soll zunächst ein solches Resonanzmesssystem 1 erläutert werden, bevor verschiedene Betriebssituationen des Resonanzmesssystems erläutert werden, die Gegenstand der Figuren 1 bis 4 sind.

Fig. 5 zeigt ein Resonanzmesssystem 1 in Form eines Coriolis-Massedurchflussmessgeräts, wobei das Resonanzmesssystem 1 einen in einem Signalprozessor implementierten Regler 2, eine elektrische Stelleinrichtung 3 und einen elektromagnetischen Antrieb 4 als Schwingungserzeuger aufweist.

5

Der elektromagnetische Antrieb 4 hat die Aufgabe, ein Schwingelement 5, vorliegend ein mit einem Medium durchströmbares Messrohr, zu einer Schwingung in einer Eigenform anzuregen. Je nach Art der Eigenform ist dazu lediglich ein einziger elektromagnetischer Antrieb 4 erforderlich, sollen auch höhere Moden angeregt werden, können auch zwei oder mehr elektromagnetische Antriebe 4 erforderlich sein; dies ist für das nachfolgend beschriebene Verfahren zum Betrieb des Resonanzmesssystems 1 nicht von Bedeutung.

15 In Fig. 5 ist das Resonanzmesssystem 1 in Form des Coriolis-Massedurchflussmessgeräts zweigeteilt dargestellt. Das tatsächlich eine Einheit bildende Coriolis-Massedurchflussmessgerät endet zu einer Hälfte am rechten Bildrand der Figur und beginnt aus Gründen der übersichtlichen Darstellung mit der anderen Hälfte wieder am linken Bildrand der Figur. Dort ist zu erkennen, dass das Resonanzmesssystem 1 ferner auch Schwingungsaufnehmer 6 aufweist, die ein Ausgangssignal  $y$  ausgeben, vorliegend in Form eines Geschwindigkeitssignals  $y$ , das Auskunft über die Geschwindigkeit der Messrohrbewegung, also des Schwingelements 5, gibt. Der Schwingungsaufnehmer 6 ist zur Durchführung des nachfolgend dargestellten Verfahrens nicht zwingend erforderlich. An die Schwingungsaufnehmer 6 schließt sich eine Mehrzahl von Übertragungselementen an, die im Wesentlichen der Signalaufbereitung dienen, wie beispielsweise eine aus Verstärkern bestehende Anpassungselektronik 7a, ein Hardwaremultiplexer 7b zur Realisierung verschiedener umschaltbarer Messkanäle, eine weitere Anpassungselektronik 7c und ein Analog/Digital-Wandler 7d, der die analogen gemessenen Signale dem Regler 2 in Form digitaler Signale wieder zuführt. Der Regler 2 erzeugt ein Reglerausgangssignal  $u_1$  zur Ansteuerung der elektrischen Stelleinrichtung 3, und die elektrische Stelleinrichtung 3 erzeugt nachfolgend ein elektrisches Anregungssignal  $u_2$  zur Anregung des elektromagnetischen Antriebs 4.

35

Es sind verschiedene Verfahren bekannt, bei denen ein zumindest das Schwingelement 5 abbildendes mathematisches Modell 8 des Resonanzmesssystems 1 aufgestellt wird und Parameter des mathematischen Modells 8 durch geeignete Anregungen des Schwingelements 5 und Auswertung des mathematischen Modells 8 identifiziert werden und die identifizierten Parameter und/oder davon abgeleitete Größen zum Betreiben des Resonanzmesssystems 1 herangezogen werden. Das mathematische Modell 8 ist in Fig. 5 als Bestandteil des Reglers 2 dargestellt, wobei alle Verfahren zum Betreiben des Coriolis-Massedurchflussmessgeräts praktisch in Form von Programmen auf einer oder mehreren Recheneinheiten implementiert sind. Das Arbeiten mit mathematischen Modellen 8 ist nicht Gegenstand der vorliegenden Patentanmeldung, ist vielmehr ausführlich dargestellt in anderen Patentanmeldungen, wie beispielsweise der DE 10 2011 012 498 A1 (Mehrphasendetektion) oder der DE 10 2008 059 920 A1 (Selektive Parameteridentifikation). Ein umfangreiches mathematisches Modell 8 wird auch nicht zur Realisierung des hier behandelten Verfahrens benötigt. Das Verfahren kann beispielsweise vielmehr schon unter Verwendung ganz einfacher physikalischer Zusammenhänge quantitativ umgesetzt werden, was nachfolgend auch gezeigt wird.

In den Figuren 1 bis 3 sind verschiedene Situationen dargestellt, die es mit dem Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens zu vermeiden gilt. In Fig. 1 ist der Verlauf des Antrieb-Klemmenstroms  $i_{DrA}$  über der Zeit gezeigt, wobei  $i_{DrA-max}$  einen vorgegebenen maximalen Antrieb-Klemmenstrom bezeichnet und einen Schwellwert für diesen Strom darstellt. Dargestellt ist der Stromverlauf  $i_{DrA}$ , wenn beispielsweise eine Ex-Abschaltung – bei Realisierung der Zündschutzart "Eigensicherheit" – aktiv wird. Dies kann der Fall sein beim Überschreiten der vorbestimmten Maximalwerte der Antrieb-Leistung  $S_{DrA-max}$ , des Antrieb-Klemmenstroms  $i_{DrA-max}$  oder der Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA-max}$ . In diesem Fall wird das Resonanzmesssystem 1 hardwaremäßig abgeschaltet ("Absturz"). Dieser Fall ist in Fig. 1 für den Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  dargestellt. Nach einem zeitaufwändigen Neustart stürzt das Messsystem gegebenenfalls wiederholt ab, wenn die Ursache – hohe Belastung des Schwingelements – nicht berücksichtigt wird. Das Messsystem kann in diesem Betriebszustand natürlich keine Information über die Prozessgröße liefern. Darüber hinaus ist während der Neustart-Phase  $t_N$  keine Kom-

munikation mit dem Messsystem möglich, so dass keine Diagnose-Daten zur Verfügung stehen.

5 In Fig. 2 ist ein weiterer undefinierter Zustand des Resonanzmesssystems 1 dargestellt, wenn das elektrische Anregungssignal  $u_2$  beim Überschreiten bzw. Unterschreiten einer vorbestimmten Schranke –  $i_{\text{DrA-max}}$  für den Antrieb-Klemmenstrom,  $u_{\text{DrA-max}}$  für die Antrieb-Klemmenspannung – abgeschaltet wird. Das Anregungssignal wird nach einer vorbestimmten Wartezeit  $t_N$  wieder eingeschaltet. Da diese Wartezeit unabhängig von der Belastung des Schwingelements 5 ist, kommt es gegebenenfalls zu einer unbeabsichtigten und damit unkontrollierten Ansteuerung, die das Schwingelement 5 mit unbe-  
10 kannten Frequenzen in mehreren Eigenfrequenzen anregt. Damit ist aber der Arbeitspunkt des Schwingelements 5 unbekannt und nicht quasistationär. Somit sind auch die Antwortsignale des Schwingelements 5 nur schwer aus-  
15 wertbar, beispielsweise weil der Auswertung ein quasistationär arbeitendes mathematisches Modell 8 zugrunde liegt. Im Ergebnis führt ein solcher Fehler zu hohen Messunsicherheiten bei den Messergebnissen.

20 Ein undefinierter Zustand bzw. ein Arbeitsverhalten mit starken Nichtlinearitäten kommt auch dann zustande, wenn, wie in Fig. 3 gezeigt, das elektrische Anregungssignal  $u_2$  auf vorbestimmte Maximalwerte beschränkt ist. Im Beispiel von Fig. 3 handelt es sich hier um den Antrieb-Klemmenstrom  $i_{\text{DrA}}$ , der auf einen vorgegebenen maximalen Antrieb-Klemmenstrom  $i_{\text{DrA-max}}$  für positive Werte wie für negative Werte beschränkt ist. In diesem Fall geht die An-  
25 regung von einer harmonischen Anregung bei niedriger Belastung des Schwingelements in eine rechteckförmige Anregung – gestrichelte Linie, gekappte Sinuskurve – bei hoher Belastung über. Dadurch wird – wie bei den oben beschriebenen Fällen in den Figuren 1 und 2 – der Arbeitspunkt unsicher und damit steigt auch die Messunsicherheit der Messergebnisse.

30 Zur Vermeidung der zuvor anhand der Figuren 1 bis 3 aufgezeigten unkontrollierten Betriebssituationen mit dem massiven Auftreten von Nichtlinearitäten wird erfindungsgemäß für den Betrieb des Resonanzmesssystems 1 nunmehr vorgesehen, dass der durch das elektrische Anregungssignal  $u_2$  bewirkte Antrieb-Klemmenstrom  $i_{\text{DrA}}$  und die durch das elektrische Anregungssignal  $u_2$   
35 bewirkte Antrieb-Klemmenspannung  $u_{\text{DrA}}$  des elektromagnetischen Antriebs 4

durch Messung erfasst werden, aus dem Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  und der Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  die Antrieb-Leistung  $S_{DrA}$  bestimmt wird, wobei bei Überschreitung eines vorgegebenen maximalen Antrieb-Klemmenstroms  $i_{DrA-max}$  durch den Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  und/oder bei  
5 Überschreitung einer vorgegebenen maximalen Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA-max}$  durch die Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  und/oder bei Überschreitung einer vorgegebenen maximalen Antrieb-Leistung  $S_{DrA-max}$  durch die Antrieb-Leistung  $S_{DrA}$  das elektrische Anregungssignal  $u_2$  so auf einen Schrankenwert  $u_{2-B}$  beschränkt wird, dass der Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  unterhalb  
10 des vorgegebenen maximalen Antrieb-Klemmenstroms  $i_{DrA-max}$  und/oder die Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  unterhalb der vorgegebenen maximalen Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA-max}$  und/oder die Antrieb-Leistung  $S_{DrA}$  unterhalb der maximalen Antrieb-Leistung  $S_{DrA-max}$  bleibt.

15 Durch die beschriebene Beschränkung des elektrischen Anregungssignals  $u_2$  auf den Schrankenwert  $u_{2-B}$  wird erreicht, dass die Anregung des Resonanzmesssystems bzw. des Schwingungserzeugers in Form der Messrohre eines Coriolis-Massedurchflussmessgeräts so begrenzt wird, dass stets mit einer harmonischen Schwingungen angeregt wird, also lineares Betriebsverhalten  
20 beibehalten werden kann. Das mit dem beschriebenen Verfahren bewirkte Betriebsverhalten des Resonanzmesssystems 1 ist dargestellt in Fig. 4, wobei der dort angedeutete Pfeil in Richtung zunehmender Last des elektromagnetischen Antriebs 4 durch den Schwingungserzeuger weist. Im Ergebnis ist jedenfalls zu erkennen, dass das elektrische Anregungssignal  $u_2$  in Abhängigkeit  
25 von der elektrischen Last so berechnet und vorgegeben wird, dass zum einen das Anregungssignal – hier in Form des Antrieb-Klemmenstroms  $i_{DrA}$  harmonisch bleibt und zum anderen keine der vorbestimmten Extremwerte  $S_{DrA-max}$  für die Antrieb-Leistung,  $i_{DrA-max}$  für den Antrieb-Klemmenstrom und  $u_{DrA-max}$  für die Antrieb-Klemmenspannung überschritten werden. Die elektrischen  
30 Eingangsgrößen des Resonanzmesssystems 1, also der Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$ , die Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  und die Antrieb-Leistung  $S_{DrA}$  – und damit die Belastung des Resonanzmesssystems 1 – werden durch den Prozess gemessen und die Sollwerte für die Arbeitspunkte und/oder die Stellgrößenbeschränkung werden so vorausberechnet und ge-  
35 setzt, dass die Elemente des Resonanzmesssystems 1 stets im linearen Bereich arbeiten und möglichst keine Abschaltung des Resonanzmesssystems 1 bei

hoher Belastung durchgeführt werden muss. Das vorgeschlagene Verfahren setzt die Sollwerte und/oder Stellgrößenbeschränkungen in Abhängigkeit von der aktuellen Belastung des Resonanzmesssystems 1 und in Abhängigkeit von der zur Verfügung stehenden Leistung so, dass alle relevanten Elemente und Einheiten in den Antriebs- und Messketten im linearen Bereich arbeiten.

Zum besseren Verständnis der Zusammenhänge sind in Fig. 6 in Form eines Ersatzschaltbildes die physikalischen Zusammenhänge bei einem Resonanzmesssystem 1 in Form eines mathematischen Modells 8 (Ersatzschaltbild) dargestellt; dieses mathematische Modell 8 selbst wird nicht zur Durchführung des beanspruchten Verfahrens benötigt. Im oberen Abschnitt der Fig. 6 ist zunächst ein Coriolis-Massedurchflussmessgerät als Resonanzmesssystem 1 skizziert, wobei zwei Messrohre als Schwingelement 5 angedeutet sind. Ferner ist angedeutet ein elektromagnetischer Antrieb 4, mit dem die Messrohre gegeneinander ausgelenkt werden können und so zur Schwingung angeregt werden. Im unteren Teil der Fig. 6 ist ein Ersatzschaltbild für den elektromagnetischen Antrieb 4 – linke Seite – und für das mit dem Medium wechselwirkende Schwingelement 5 – rechte Seite – dargestellt. Ferner ist dargestellt, dass die elektrische Stelleinrichtung 3 ein elektrisches Anregungssignal  $u_2$  erzeugt zur Anregung des elektromagnetischen Antriebs 4.

Der durch das elektrische Anregungssignal  $u_2$  bewirkte Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  und die durch das elektrische Anregungssignal  $u_2$  bewirkte Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  des elektromagnetischen Antriebs 4 werden durch Messungen erfasst, was hier im Einzelnen nicht dargestellt ist. Bei dem elektrischen Anregungssignal  $u_2$  kann es sich um die Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  oder um den Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  handeln; der verwendete Buchstabe "u" weist also nicht zwingend auf eine Spannung hin. Der Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  kann beispielsweise durch den Spannungsabfall an einem ohmschen Widerstand abgegriffen werden, die Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  kann direkt von einem analogen Messeingang eines digitalen Signalprozessors hochohmig erfasst werden oder von einem separaten Analog/Digital-Wandler digitalisiert werden.

Das hier dargestellte mathematische Modell 8 bildet damit auch die physikalischen Eigenschaften des elektromagnetischen Antriebs 4 nach, so dass Effekte

des elektromagnetischen Antriebs 4 in die Berechnung mit einbezogen werden können. Im vorliegenden Fall sind die Parameter des elektromagnetischen Antriebs 4 und des Schwingelements 5 beispielsweise vorgegeben, sie könne aber auch durch geeignete Identifikationsverfahren bestimmt werden, siehe  
5 dazu die parallele und noch nicht offengelegte Patentanmeldung DE 10 2012 011 934.8. Wie die Parameter bestimmt werden könnten, ist nicht Gegenstand dieser Anmeldung.

Aus der in Fig. 6 dargestellten Modellvorstellung ist ersichtlich, dass das  
10 mathematische Modell 8 den elektromagnetischen Antrieb 4 und das mit dem Medium wechselwirkende Schwingelement 5 insgesamt als Last der elektrischen Stelleinrichtung 3 abbildet, wobei die Last dem Verhältnis aus der Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  und dem Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  entspricht. Es gilt:

15

$$Z(j\omega) = \frac{U_{DrA}(j\omega)}{I_{DrA}(j\omega)}. \quad (1)$$

20 In der vorgenannten gleichungsmäßigen Beschreibung wird davon ausgegangen, dass das elektrische Anregungssignal  $u_2$  ein harmonisches Anregungssignal ist, so dass sich die komplexwertige Formulierung anbietet. Bei Betrachtung von Fig. 6 wird deutlich, dass der komplexe Lastwiderstand insgesamt abhängig ist von den Eigenschaften des Schwingungserzeugers 4 (Induktivität  
25 der Spule, ohmscher Widerstand der Spule und Wirbelstromverluste), von den mechanischen Eigenschaften des Schwingelements 5 in Form der Messrohre und auch von den Eigenschaften des mit dem Schwingelement 5 wechselwirkenden Mediums, vorliegend von dem durch die Messrohre strömenden Medium. Der komplexe Lastwiderstand ist also abhängig von elektrischen, me-  
30 chanischen und strömungsmechanischen Eigenschaften des elektromagnetischen Antriebs 4 und des mit dem Medium wechselwirkenden Schwingelements 5.

In dem in Fig. 6 dargestellten Ersatzschaltbild haben die Ersatzgrößen insge-  
35 samt die folgende Bedeutung:

	$u_{DrA}$	:= Spannung am Ausgang des Leistungsverstärkers (Spannung an der Antriebsspule),
	$i_{DrA}$	:= Strom am Ausgang des Leistungsverstärkers (Strom durch die Antriebsspule),
5	$i_L$	:= Strom durch die Ersatzinduktivität,
	$k$	:= Übertragungsbeiwert,
	$R_S$	:= Ohm'scher Widerstand der Antriebsspule,
	$R_W$	:= Wirbelstromverluste im elektromagnetischen Antrieb,
10	$L_S$	:= Induktivität der Antriebsspule,
	$u_{ind}$	:= geschwindigkeitsproportionale Induktionsspannung an der Spule,
	$v$	:= Messrohrgeschwindigkeit,
	$m$	:= Schwingmasse der Messrohre und des Messmediums (effektiv schwingende Masse),
15	$c$	:= Federsteifigkeit der Messrohre und des Messmediums (effektive Federsteifigkeit),
	$d$	:= Dämpfungskoeffizient der Messrohre und des Messmediums (prozessbedingte Dämpfung) und
20	$F_m$	:= Antriebskraft.

Der Widerstand  $R_S$  beschreibt den ohmschen Widerstand der von dem elektromagnetischen Antrieb 4 umfassten Antriebsspule. Der Widerstand  $R_W$  beschreibt die Wirbelstromverluste im elektromagnetischen Schwingungserzeuger und die Induktivität der Antriebsspule wird durch  $L_S$  beschrieben. Von besonderem Interesse ist für die Beurteilung des Bewegungszustandes des Resonanzmesssystems 1 die Phasenlage zwischen dem Strom  $i_L$  durch die Induktivität  $L_S$  und der Geschwindigkeit des Schwingelements 5. Der ausschließlich durch die Induktivität  $L_S$  fließende Strom  $i_L$  verursacht eine proportionale Kraftwirkung  $F_m$  auf das Schwingelement 5. Aus dem Ersatzschaltbild gemäß Fig. 6 ist sofort ersichtlich, dass der Strom  $i_L$  nicht in Phase sein muss zu dem Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$ . Zur Berechnung der komplexen Last gemäß Gleichung (1) können aus Fig. 6 die folgenden Gleichungen abgeleitet werden:

$$\begin{aligned}
 u_{DrA} &= R_S i_{DrA} + R_W i_W \\
 u_{DrA} &= R_S i_{DrA} + L_S \frac{di_L}{dt} + u_{ind} \\
 i_{DrA} &= i_L + i_W \\
 F_m &= m\dot{v} + dv + c \int v d\tau \\
 F_m &= k i_L \\
 u_{ind} &= kv
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Durch den Übertragungsbeiwert  $k$  werden die mathematischen Teilmodelle für den elektromagnetischen Antrieb 4 und das Schwingelement 5 miteinander gekoppelt, wobei gleichermaßen eine Proportionalität existiert zwischen dem Strom  $i_L$  durch die Spule im Ersatzschaltbild mit der Induktivität  $L_S$  und der dadurch hervorgerufenen Kraftwirkung  $F_m$  einerseits, wie andererseits zwischen der Geschwindigkeit  $v$  des Messrohrs als Schwingelement 5 und der dadurch erzeugten Rückwirkung in Form der induzierten Spannung  $u_{ind}$ . Da beide Wirkungen durch ein und denselben elektromagnetischen Antrieb 4 erzeugt werden, gilt für beide Gleichungen tatsächlich der gleiche Übertragungsbeiwert  $k$ . Der Übertragungsbeiwert  $k$  ist für die Bestimmung vieler interessierender Größen als absoluter Wert nicht zwingend erforderlich, weil häufig nur Relationen von Werten zueinander berücksichtigt werden, weil bestimmte Werte nur hinsichtlich ihrer Phasenlage von Interesse sind, weniger von ihrem Betrag her, und weil in der Praxis entsprechende Werte für  $k$  bei einer initialen Kalibrierung bestimmt werden können. Gleichwohl ist es natürlich möglich, für  $k$  einen genauen Wert anzugeben, wengleich die Bestimmung auch einen gewissen messtechnischen Aufwand bedeutet.

In Abhängigkeit davon, ob die elektrische Stelleinrichtung 3 an ihrem Ausgang einen Strom oder eine Spannung treibt und demzufolge entweder der Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  oder die Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  als Ausgangsgröße  $u_2$  einstellt, ergeben sich verschiedene Übertragungsfunktionen. Für den Fall, dass sich der Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  als Reaktion auf eine von der elektrischen Stelleinrichtung gelieferte Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  einstellt (U-U-Leistungsverstärker), ergibt sich als Lastleitwert im Bildbereich (Gleichung 3):

$$\frac{I_{DrA}}{U_{DrA}} = G = \frac{1}{(R_S + R_W)} \cdot \frac{L_S m s^3 + (L_S d + R_W m) s^2 + (L_S c + R_W d + k^2) s + R_W c}{L_S m s^3 + (L_S d + (R_W \parallel R_S) m) s^2 + (L_S c + k^2 + (R_W \parallel R_S) d) s + (R_W \parallel R_S) c}$$

Für den Fall, dass die elektrische Stelleinrichtung 3 den Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  treibt und sich die Antrieb-Klemmenspannung als Reaktion einstellt, ergibt sich für den komplexen Lastwiderstand (elektrische Stelleinrichtung 3 arbeitet als U-I-Leistungsverstärker):

$$\frac{U_{DrA}}{I_{DrA}} = Z = (R_S + R_W) \cdot \frac{L_S m s^3 + (L_S d + (R_W \parallel R_S) m) s^2 + (L_S c + k^2 + (R_W \parallel R_S) d) s + (R_W \parallel R_S) c}{L_S m s^3 + (L_S d + R_W m) s^2 + (L_S c + R_W d + k^2) s + R_W c} \quad (4)$$

Die beiden Übertragungsfunktionen beschreiben den komplexen Lastleitwert  $\underline{G}$  bzw. den komplexen Lastwiderstand  $\underline{Z}$ , mit dem die elektrische Stelleinrichtung 3 insgesamt, also elektrisch, mechanisch und strömungsmechanisch, belastet wird, nachfolgend einfach als  $G$  und  $Z$  bezeichnet. Die Parameter der Übertragungsfunktionen können auf sehr unterschiedliche Weise identifiziert werden, beispielsweise indem die Übertragungsfunktionen bei verschiedenen Frequenzen betrachtet werden und bei diesen Frequenzen Messwerte für den Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  und die Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  erfasst und zur Auswertung der Gleichungen und damit des mathematischen Modells 8 verwendet werden.

Die Übertragungsfunktionen gemäß den Gleichungen 3 und 4 beschreiben den komplexen Lastleitwert  $G$  bzw. den komplexen Lastwiderstand  $Z$ , mit dem der Leistungsteil der Sensorelektronik, also die elektrische Stelleinrichtung 3, insgesamt belastet wird. Die Belastung setzt sich zusammen aus elektrischen, mechanischen und strömungsmechanischen Komponenten. Die Wirkleistung wird im Realteil der komplexen Last umgesetzt und setzt sich zusammen aus Verlusten im Ohmschen Widerstand der Antriebsspule und Wirbelstromverlusten, aus mechanischen Verlusten durch Materialdämpfung und Reibung und aus strömungsbedingten Verlusten.

Zur Veranschaulichung werden die aufgezeigten Zusammenhänge für den komplexen Lastleitwert  $G$  bzw. den komplexen Lastwiderstand  $Z$  – also die komplexe Last – vereinfacht, indem die Wirbelströme vernachlässigt werden:

$$R_w \rightarrow \infty \Rightarrow \frac{I_{DrA}}{U_{DrA}} = \frac{ms^2 + ds + c}{L_S ms^3 + (L_S d + R_S m)s^2 + (L_S c + k^2 + R_S d)s + R_S c}$$

$$\frac{I_{DrA}}{U_{DrA}} = \frac{1}{L_S s + R_S + \frac{k^2 s}{ms^2 + ds + c}} \quad (5)$$

10

bzw.

$$\frac{U_{DrA}}{I_{DrA}} = R_S + sL_S + \frac{k^2 s}{(ms^2 + ds + c)}$$

15

Noch anschaulicher wird die Gleichung, wenn die Last im Arbeitspunkt betrachtet wird, d. h. wenn die Betriebsfrequenz der Resonanzfrequenz der ersten Eigenform des Messrohrs entspricht:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}} \Rightarrow ms^2 + c = 0 \Rightarrow$$

20

$$\frac{I_{DrA}}{U_{DrA}} = \frac{1}{jL_S \omega_0 + R_S + \frac{k^2}{d}} = \frac{1}{jL_S \omega_0 + R_S + \frac{k^2}{d_0 + \Delta d}} \quad (6)$$

25

bzw.

$$\frac{U_{DrA}}{I_{DrA}} = R_S + j\omega_0 L_S + \frac{k^2}{d} = R_S + j\omega_0 L_S + \frac{k^2}{d_0 + \Delta d}$$

30

Hier ist  $d_0$  die Dämpfungskonstante des Sensors ohne das durch die Messrohre strömende Messmedium. Mit dem Messmedium ändert sich die Dämpfungskonstante um  $\Delta d$  beispielsweise infolge der Viskosität oder infolge Sekundärströmung bei mehrphasigen Strömungen. Die Änderung der Dämpfungskonstanten und damit der Last kann insbesondere bei mehrphasigen Strömungen mehrere Zehnerpotenzen betragen.

35

Die Spannung  $U_{DrA}$  bzw.  $u_{DrA}$  und der Strom  $I_{DrA}$  bzw.  $i_{DrA}$  am Ausgang des Leistungsverstärkers über Vorverstärker, Multiplexer, Verstärker, AD/-Wandler und DSP phasenselektiv gemessen. Daraus werden der komplexe Lastwiderstand  $Z$  und der komplexe Lastleitwert  $G$  bestimmt.

5

Die vorstehend aufgezeigten gleichungsmäßigen Zusammenhänge erleichtern das Verständnis, welche Faktoren für die tatsächliche Belastung des elektromagnetischen Antriebs 4 eine Rolle spielen und in den komplexen Lastleitwert  $G$  bzw. den komplexen Lastwiderstand  $Z$  eingehen, insgesamt also in der komplexen Last eine Rolle spielen.

10

Das zuvor aufgezeigte Verfahren zum Betreiben des Resonanzmesssystems 1 wird vorzugsweise durchgeführt, indem aus dem gemessenen Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  und aus der gemessenen Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  der komplexe Lastleitwert  $G$  oder der komplexe Lastwiderstand  $Z$  bestimmt wird, mit dem die elektrische Stelleinrichtung 3 belastet wird, und anhand des komplexen Lastleitwerts  $G$  und/oder anhand des komplexen Lastwiderstands  $Z$  der Schrankenwert  $u_{2-B}$  für das elektrische Anregungssignal  $u_2$  bestimmt wird. Wie genau die Bestimmung erfolgt, hängt davon ab, welcher Art die elektrische Stelleinrichtung 3 ist.

15

20

Für den Fall, dass die elektrische Stelleinrichtung 3 als gesteuerte Spannungsquelle arbeitet, kann zwangsläufig gezielt nur auf die Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  eingewirkt werden, so dass hier über einen Spannungsgrenzwert die gewünschte Leistungsbegrenzung erzielt werden kann, so dass das Resonanzsystem 1 insgesamt im linearen Bereich arbeitet. Dies kann dadurch erreicht werden, dass einerseits aus dem komplexen Lastleitwert  $G$  oder dem komplexen Lastwiderstand  $Z$  und andererseits aus dem maximalen Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA-max}$  ein Spannungsgrenzwert  $u_{DrA-BI}$  als Schrankenwert  $u_{2-B}$  und/oder aus der der maximalen Antrieb-Leistung  $S_{DrA-max}$  ein Spannungsgrenzwert  $u_{DrA-BS}$  als Schrankenwert  $u_{2-B}$  berechnet wird. Vorzugsweise wird sowohl der Spannungsgrenzwert  $u_{DrA-BI}$  als Schrankenwert  $u_{2-B}$  wie auch der Spannungsgrenzwert  $u_{DrA-BS}$  als Schrankenwert  $u_{2-B}$  berechnet, und der kleinere der beiden Werte wird als Schrankenwert  $u_{2-B}$  für das elektrische Anregungssignal  $u_2$  verwendet. Gleichungsmäßig stellt sich der Vorgang wie folgt dar:

25

30

35

$$\begin{aligned}
 & \left. \begin{array}{l} I_{DrA} > I_{DrA-max} \\ \vee \\ S_{DrA} = I_{DrA} U_{DrA} > S_{DrA-max} \end{array} \right\} \Rightarrow Z = \frac{U_{DrA}}{I_{DrA}} \Rightarrow \begin{cases} U_{DrA-BI} = Z \cdot I_{DrA-max} \\ U_{DrA-BS} = \sqrt{Z \cdot S_{DrA-max}} \end{cases} \Rightarrow \\
 5 & \Rightarrow \begin{cases} U_{DrA-BI} > U_{DrA-BS} \Rightarrow U_{DrA} = U_{DrA-BS} \\ U_{DrA-BI} < U_{DrA-BS} \Rightarrow U_{DrA} = U_{DrA-BI} \end{cases} \quad (7)
 \end{aligned}$$

Die angegebenen Gleichungen (7) greifen nur, falls die Strombegrenzung oder die Leistungsbegrenzung in Kraft treten, andernfalls werden die verwendeten Werte für die Regelung, insbesondere die Amplitudenregelung der Messrohr-  
 10 auslenkung – Messrohrgeschwindigkeit – beibehalten.

Für den Fall, dass die elektrische Stelleinrichtung 3 als gesteuerte Stromquelle arbeitet, kann zwangsläufig gezielt nur auf den Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  eingewirkt werden, so dass hier über einen Stromgrenzwert die gewünschte  
 15 Leistungsbegrenzung erzielt werden kann, so dass das Resonanzsystem 1 insgesamt im linearen Bereich arbeitet. Dies kann dadurch erreicht werden, dass einerseits aus dem komplexen Lastleitwert  $G$  oder dem komplexen Lastwiderstand  $Z$  und andererseits aus der maximalen Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA-max}$  ein Stromgrenzwert  $i_{DrA-BI}$  als Schrankenwert  $u_{2-B}$  und/oder aus der  
 20 maximalen Antrieb-Leistung  $S_{DrA-max}$  ein Stromgrenzwert  $i_{DrA-BS}$  als Schrankenwert  $u_{2-B}$  berechnet wird. Vorzugsweise wird sowohl der Stromgrenzwert  $i_{DrA-BI}$  als Schrankenwert  $u_{2-B}$  wie auch der Stromgrenzwert  $u_{DrA-BS}$  als Schrankenwert  $u_{2-B}$  berechnet, und der kleinere der beiden Werte wird als Schrankenwert  $u_{2-B}$  für das elektrische Anregungssignal  $u_2$  verwendet. Die Berechnung geschieht analog zu Gleichungsgruppe 7.  
 25

Eine besonders elegante Möglichkeit der Beschränkung des elektrischen Anregungssignals  $u_2$  auf den Schrankenwert  $u_{2-B}$  erfolgt, indem einer Amplitudenregelung zur Regelung der Amplitude des Schwingelements, ein angepasster,  
 30 ter, insbesondere geringerer Sollwert für die Amplitude vorgegeben wird. In Fig. 7 ist schematisch die Realisierung eines Regelkreises zum Betrieb des Resonanzmesssystems 1 dargestellt. Das Resonanzmesssystem 1 ist in Form eines Coriolis-Massedurchflussmessgeräts dargestellt, wobei das Resonanzmesssystem 1 einen in einem digitalen Signalprozessor (DSP) implementierten Regler 2 aufweist sowie eine elektrische Stelleinrichtung 3 mit einem  
 35 Digital/Analog-Wandler 3a und einer spannungsgesteuerten Spannungsquelle

3b als Leistungsteil Der elektromagnetische Antrieb 4 weist eine Spule auf, die das Schwingelement 5 auslenkt und zu Schwingungen anregt. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist das von der elektrischen Stelleinrichtung 3 erzeugte elektrische Anregungssignal  $u_2$  eine Spannung, die gleich der Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  des elektromagnetischen Antriebs 4 ist. Der Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  stellt sich folgerichtig nach Maßgabe der aufprägten Spannung  $u_{DrA}$ , nach Maßgabe der Parameter des elektromagnetischen Antriebs 4 und des Schwingelements 5 sowie nach Maßgabe des Bewegungszustandes des Schwingelements 5 in Zusammenhang mit dem Medium ein. Die Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  und der Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  werden jedenfalls messtechnisch erfasst und mit Analog/Digital-Wandlern 10a, 10b umgesetzt.

In der Fig. 7 ist der Regler 2 zergliedert dargestellt. In dem Reglerteil 2a ist ein mathematisches Modell 8 hinterlegt, so dass hier alle das Modell 8 betreffende Berechnungen stattfinden können. Das hier beanspruchte Verfahren ist allerdings nicht an die Verwendung eines komplizierten mathematischen Modells 8 geknüpft, das Verfahren ist vielmehr auch mit modellosen Regelkreisen anwendbar. In den Reglerteilen 2b sind die eigentlichen Regler implementiert, ganz oben beispielsweise für die Phasenregelung, in der Mitte für die Amplitudenregelung und unten für die Amplitudensteuerung. Ausgänge der Regler 2b sind Stellgrößen, die von dem darauffolgenden Signalgenerator 2c umgesetzt werden. Zur Anregung des Schwingelements 5 werden in dem Signalgenerator 2c zunächst zwei orthogonale harmonische Anregungssignale generiert, aus denen zusammen das Reglerausgangssignal  $u_1$  erzeugt wird. Die ebenfalls harmonischen Messgrößen, die über die Analog/Digital-Wandler 10a, 10b dem DSP wieder zugeführt werden, werden in den Demodulatoren 11a, 11b mit Hilfe der orthogonalen Basissignale des Signalgenerators 2c in Signalkomponenten zerlegt, die die Bestimmung der Phasenlage der Signale in Bezug auf das Basissignal gestatten, so dass nach der Demodulation eine Phaseninformation bezogen auf das Ausgangssignal des Signalgenerators 2c vorliegt. Die nach Betrag und Phase bekannte Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  und der Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  werden dann im Regler insgesamt so ausgewertet, dass der Sollwert  $A_S$  für die Amplitude so angepasst wird, dass der ermittelte Spannungsgrenzwert  $u_{DrA-BI}$  bzw.  $u_{DrA-BS}$  eingehalten wird.

In Fig. 8 ist schließlich dargestellt, dass die elektrische Stelleinrichtung 3 so betrieben wird, dass der bewirkte Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  stets kleiner ist als der vorgegebene maximale Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA-max}$  ist und dass die bewirkte Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  stets kleiner ist als die vorgegebene maximale Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA-max}$  ist und dass die Antrieb-Leistung  $S_{DrA}$  stets kleiner ist als die vorgegebene maximale Antrieb-Leistung  $S_{DrA-max}$ . Der Verlauf für die Leistungsbegrenzung ist hier vereinfacht linear dargestellt. Der bogenförmige Pfeil deutet die Richtung der Arbeitslinie mit zunehmender Last hin. Bei geringen Lasten ist der Stromgrenzwert bestimmend, bei sehr hohen Lasten ist die Spannungsgrenze limitierend, in dem Arbeitsbereich des Resonanzmesssystems zwischen diesen beiden Situationen ist die von der elektrischen Stelleinrichtung 3 maximal lieferbare Leistung beschränkend.

15

**Patentansprüche:**

1. Verfahren zum Betreiben eines Resonanzmesssystems (1), insbesondere eines Coriolis-Massedurchflussmessgeräts, wobei das Resonanzmesssystem  
5 (1) wenigstens eine elektrische Stelleinrichtung (3), wenigstens einen elektromagnetischen Antrieb (4) als Schwingungserzeuger und wenigstens ein mit einem Medium wechselwirkendes Schwingelement (5) umfasst, die elektrische Stelleinrichtung (3) ein elektrisches Anregungssignal ( $u_2$ ) zur Anregung des elektromagnetischen Antriebs (4) bereitstellt und der elektromagnetische Antrieb (4) das Schwingelement (5) zur Schwingung in wenigstens einer Eigenform anregt,  
10

**dadurch gekennzeichnet,**

15 dass der durch das elektrische Anregungssignal  $u_2$  bewirkte Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  und die durch das elektrische Anregungssignal  $u_2$  bewirkte Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  des elektromagnetischen Antriebs (4) durch Messung erfasst werden, aus dem Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  und der Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  die Antrieb-Leistung  $S_{DrA}$  bestimmt wird,  
20

wobei bei Überschreitung eines vorgegebenen maximalen Antrieb-Klemmenstroms  $i_{DrA-max}$  durch den Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  und/oder bei Überschreitung einer vorgegebenen maximalen Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA-max}$  durch die Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  und/oder bei Überschreitung einer vorgegebenen maximalen Antrieb-Leistung  $S_{DrA-max}$  durch die Antrieb-Leistung  $S_{DrA}$  das elektrische Anregungssignal  $u_2$  so auf einen Schrankenwert  $u_{2-B}$  beschränkt wird, dass der Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  unterhalb des vorgegebenen maximalen Antrieb-Klemmenstroms  $i_{DrA-max}$  und/oder die Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  unterhalb der vorgegebenen maximalen Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA-max}$  und/oder die Antrieb-Leistung  $S_{DrA}$  unterhalb der maximalen Antrieb-Leistung  $S_{DrA-max}$  bleibt.  
25  
30

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem gemessenen Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  und aus der gemessenen Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA}$  der komplexe Lastleitwert  $G$  oder der komplexe Lastwiderstand  $Z$  bestimmt wird, mit dem die elektrische Stelleinrichtung (3) belastet wird, und anhand des komplexen Lastleitwerts  $G$  und/oder anhand  
35

des komplexen Lastwiderstands  $Z$  der Schrankenwert  $u_{2-B}$  für das elektrische Anregungssignal  $u_2$  bestimmt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die  
5 Beschränkung des elektrischen Anregungssignals  $u_2$  auf den Schrankenwert  $u_{2-B}$  erfolgt, indem einer Amplitudenregelung zur Regelung der Amplitude des Schwingelements, ein angepasster, insbesondere geringerer Sollwert für die Amplitude vorgegeben wird.
- 10 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrische Stelleinrichtung (3) als gesteuerte Spannungsquelle arbeitet und einerseits aus dem komplexen Lastleitwert  $G$  oder dem komplexen Lastwiderstand  $Z$  und andererseits aus dem maximalen Antrieb-Klemmenstroms  $i_{DrA-max}$  ein Spannungsgrenzwert  $u_{DrA-BI}$  als Schrankenwert  
15  $u_{2-B}$  und/oder aus der der maximalen Antrieb-Leistung  $S_{DrA-max}$  ein Spannungsgrenzwert  $u_{DrA-BS}$  als Schrankenwert  $u_{2-B}$  berechnet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass sowohl der Spannungsgrenzwert  $u_{DrA-BI}$  als Schrankenwert  $u_{2-B}$  als auch der Spannungsgrenzwert  $u_{DrA-BS}$  als Schrankenwert  $u_{2-B}$  berechnet wird und der kleinere der  
20 beiden Werte als Schrankenwert  $u_{2-B}$  für das elektrische Anregungssignal  $u_2$  verwendet wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet,  
25 dass die elektrische Stelleinrichtung (3) als gesteuerte Stromquelle arbeitet und einerseits aus dem komplexen Lastleitwert  $G$  oder dem komplexen Lastwiderstand  $Z$  und andererseits aus der maximalen Antrieb-Klemmenspannung  $u_{DrA-max}$  ein Stromgrenzwert  $i_{DrA-BU}$  als Schrankenwert  $u_{2-B}$  und/oder aus der maximalen Antrieb-Leistung  $S_{DrA-max}$  ein Stromgrenzwert  $i_{DrA-BS}$  als Schrankenwert  
30  $u_{2-B}$  berechnet wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass sowohl der Stromgrenzwert  $i_{DrA-BU}$  als Schrankenwert  $u_{2-B}$  als auch der Stromgrenzwert  $i_{DrA-BS}$  als Schrankenwert  $u_{2-B}$  berechnet wird und der kleinere der beiden  
35 Werte als Schrankenwert  $u_{2-B}$  für das elektrische Anregungssignal  $u_2$  verwendet wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet,  
dass die elektrische Stelleinrichtung (3) so betrieben wird, dass der bewirkte  
Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA}$  stets kleiner ist als der vorgegebene maximale  
5 Antrieb-Klemmenstrom  $i_{DrA-max}$  und dass die bewirkte Antrieb-  
Klemmenspannung  $u_{DrA}$  stets kleiner ist als die vorgegebene maximale An-  
trieb-Klemmenspannung  $u_{DrA-max}$  und dass die Antrieb-Leistung  $S_{DrA}$  stets  
kleiner ist als die vorgegebene maximale Antrieb-Leistung  $S_{DrA-max}$ .

10

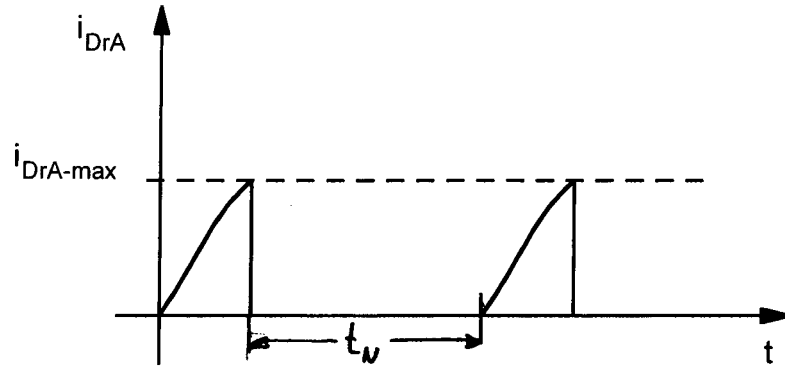


Fig. 1

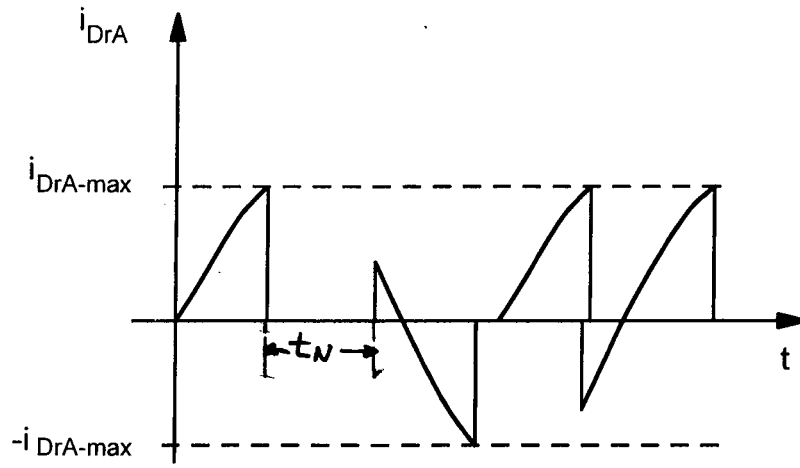


Fig. 2

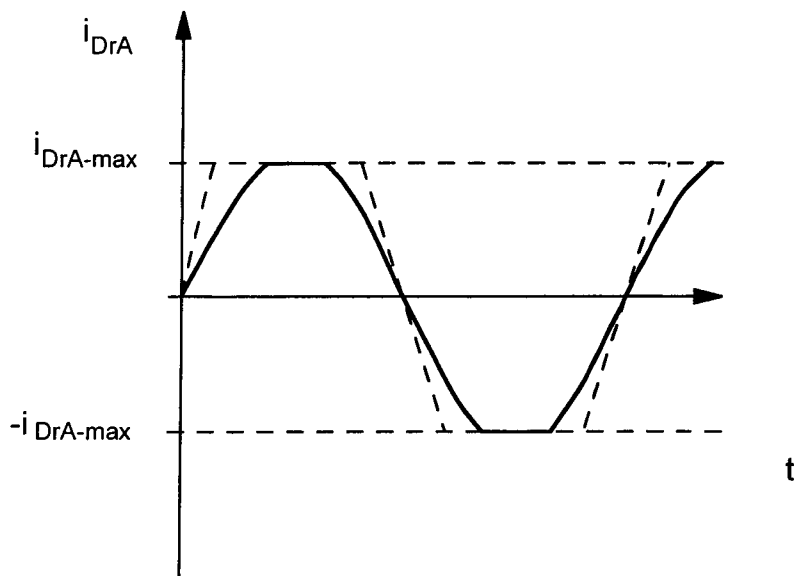


Fig. 3

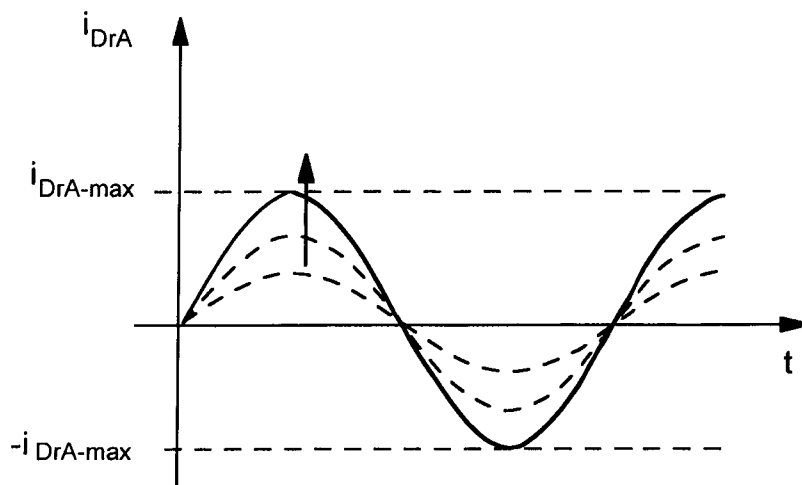


Fig. 4

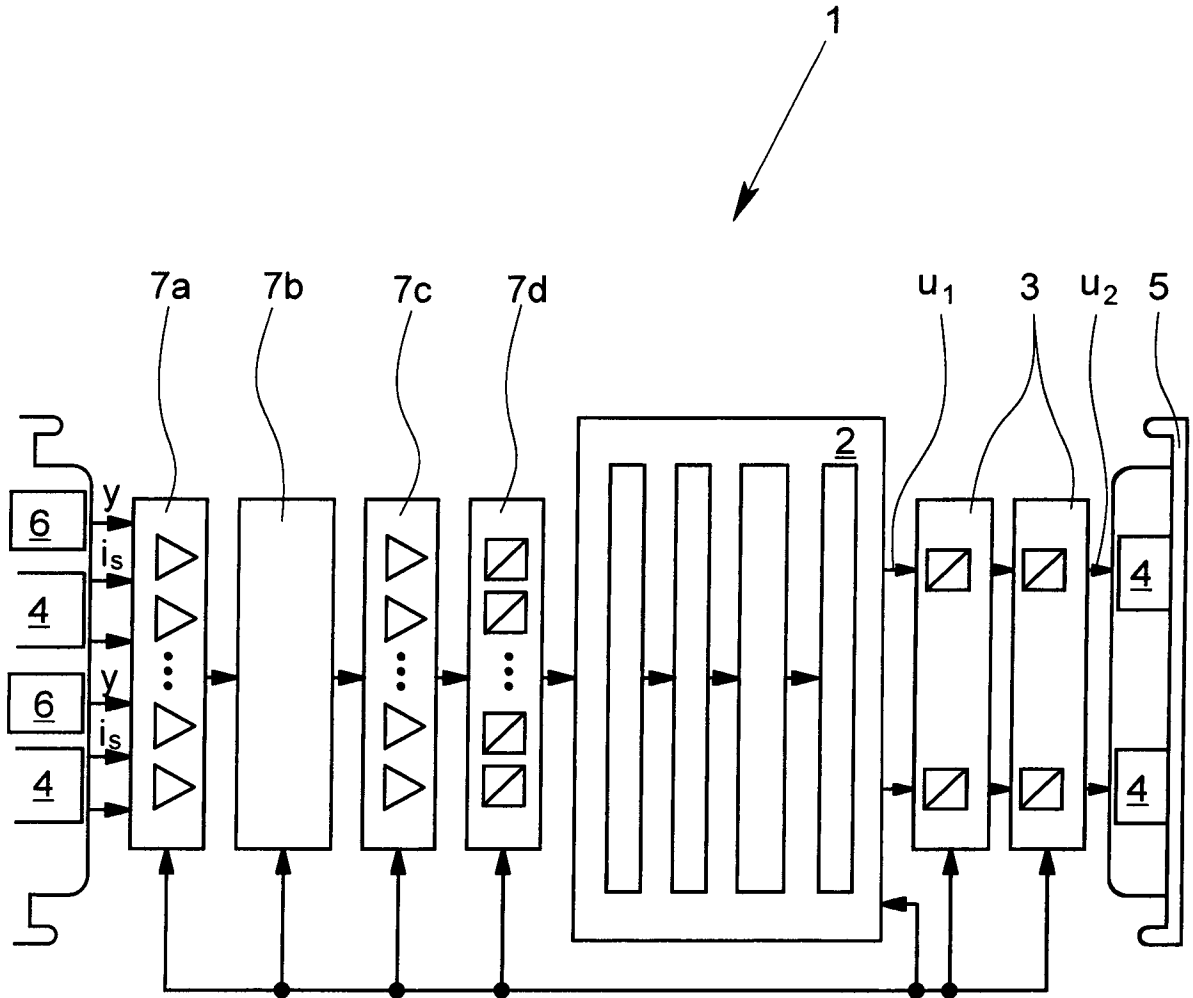


Fig. 5

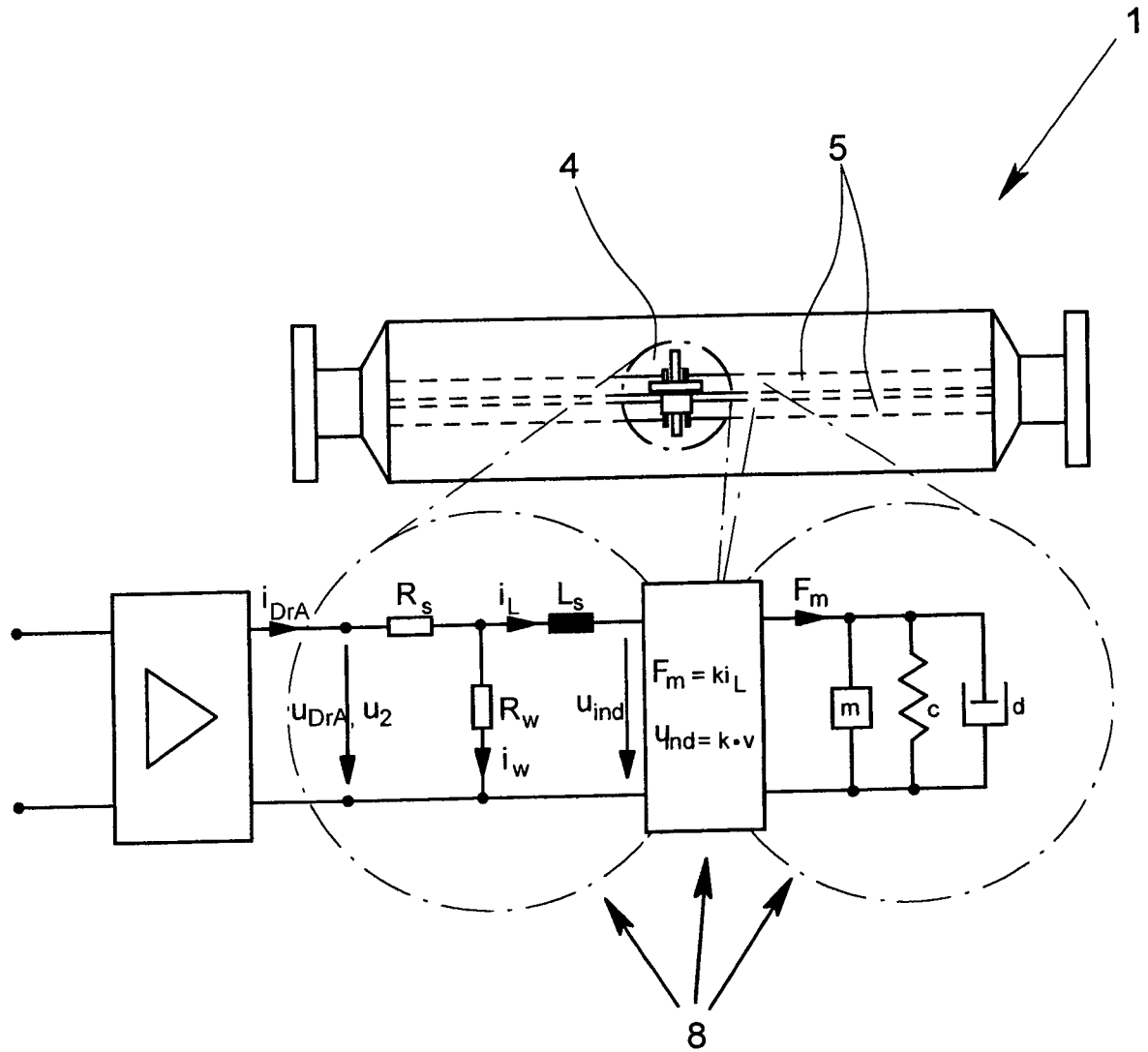


Fig. 6

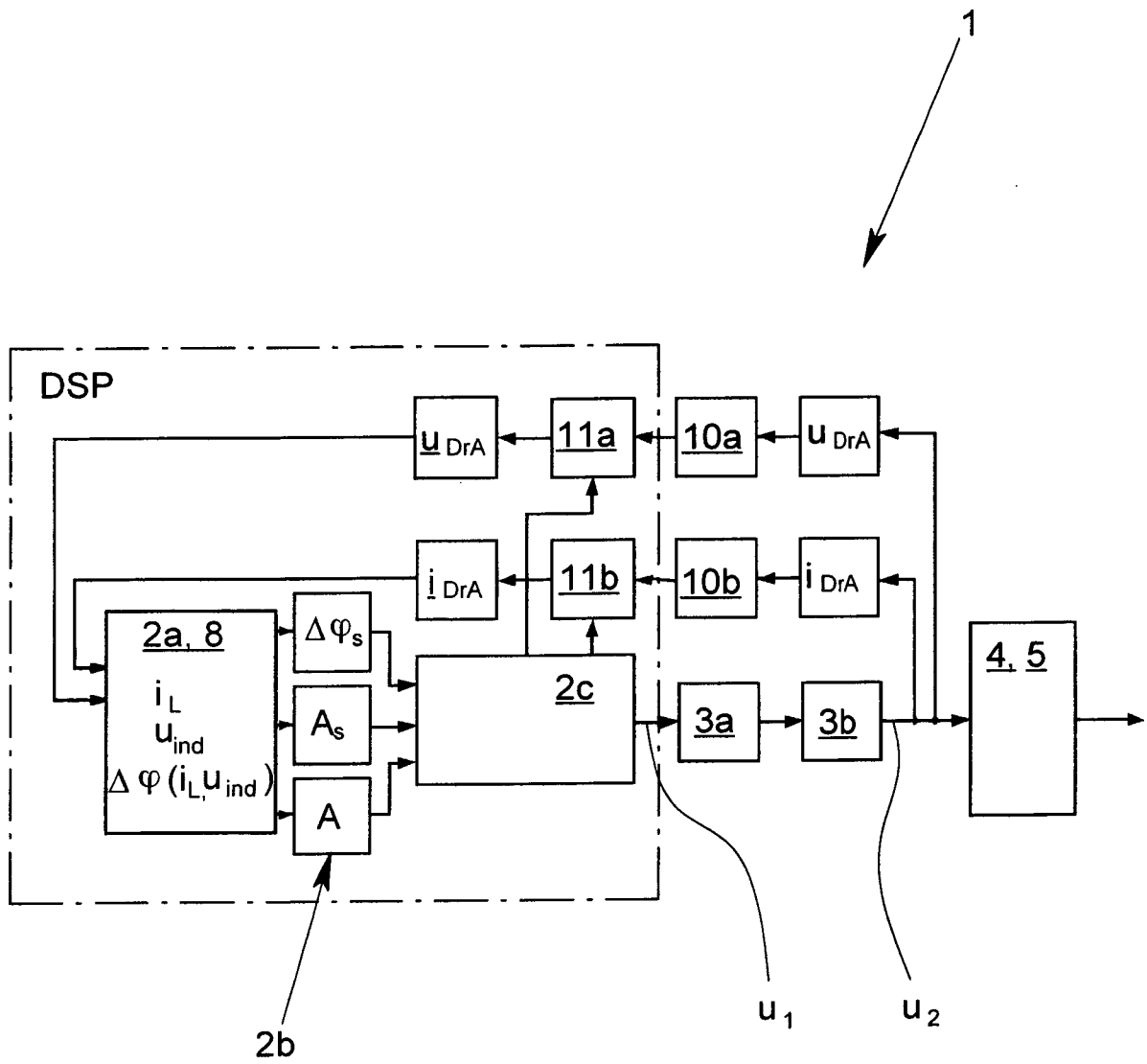


Fig. 7

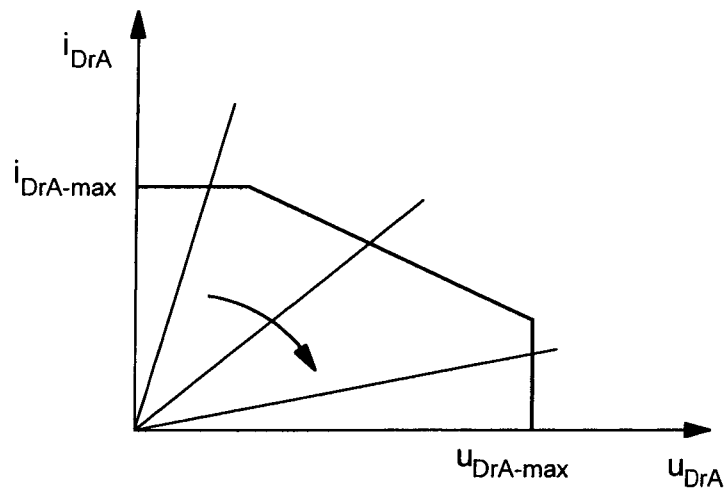


Fig. 8

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No  
PCT/EP2013/001792

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
INV. G01F1/84  
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)  
G01F  
  
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, COMPENDEX, INSPEC, 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	US 2007/119263 A1 (HENRY MANUS P [GB] ET AL) 31 May 2007 (2007-05-31)	1-7
A	paragraphs [0351] - [0360]; figures 42, 43A, 43B, 43C	8
X	EP 2 418 748 A2 (KROHNE MESSTECHNIK GMBH [DE]) 15 February 2012 (2012-02-15) the whole document	1-8
A	WO 2008/003629 A1 (FLOWTEC AG [CH]; LALLA ROBERT [DE]) 10 January 2008 (2008-01-10) the whole document	1-8

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  
  
7 November 2013

Date of mailing of the international search report  
  
14/11/2013

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  
  
Politsch, Erich

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2013/001792
---

Patent document cited in search report	Publication date	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2007119263	A1	31-05-2007	NONE	
EP 2418748	A2	15-02-2012	CN 102377174 A	14-03-2012
			DE 102010033954 A1	16-02-2012
			EP 2418748 A2	15-02-2012
			JP 2012039861 A	23-02-2012
			US 2012038345 A1	16-02-2012
WO 2008003629	A1	10-01-2008	CA 2656329 A1	10-01-2008
			CN 101484862 A	15-07-2009
			DE 102006030962 A1	31-01-2008
			EP 2049964 A1	22-04-2009
			RU 2009103294 A	10-08-2010
			WO 2008003629 A1	10-01-2008

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 INV. G01F1/84  
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole )  
 G01F

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, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2007/119263 A1 (HENRY MANUS P [GB] ET AL) 31. Mai 2007 (2007-05-31)	1-7
A	Absätze [0351] - [0360]; Abbildungen 42, 43A, 43B, 43C	8
	-----	
X	EP 2 418 748 A2 (KROHNE MESSTECHNIK GMBH [DE]) 15. Februar 2012 (2012-02-15)	1-8
	das ganze Dokument	
	-----	
A	WO 2008/003629 A1 (FLOWTEC AG [CH]; LALLA ROBERT [DE]) 10. Januar 2008 (2008-01-10)	1-8
	das ganze Dokument	
	-----	



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

7. November 2013

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

14/11/2013

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

Politsch, Erich

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/001792

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2007119263	A1	31-05-2007	KEINE
-----			
EP 2418748	A2	15-02-2012	CN 102377174 A 14-03-2012
		DE 102010033954 A1	16-02-2012
		EP 2418748 A2	15-02-2012
		JP 2012039861 A	23-02-2012
		US 2012038345 A1	16-02-2012
-----			
WO 2008003629	A1	10-01-2008	CA 2656329 A1 10-01-2008
		CN 101484862 A	15-07-2009
		DE 102006030962 A1	31-01-2008
		EP 2049964 A1	22-04-2009
		RU 2009103294 A	10-08-2010
		WO 2008003629 A1	10-01-2008
-----			