

(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
6. September 2013 (06.09.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/126940 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01M 13/02 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/AT2013/050052

(22) Internationales Anmeldedatum:
1. März 2013 (01.03.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
A 50048/2012 1. März 2012 (01.03.2012) AT

(71) Anmelder: KRISTL, SEIBT & CO. GESELLSCHAFT
M.B.H. [AT/AT]; Baiernstraße 122a, A-8052 Graz (AT).

(72) Erfinder: BAUER, Robert; Murfelder Straße 71, A-8041
Graz (AT). LANG, Marcus; Popelkaring 12, A-8045 Graz
(AT). PRESSL, Bernd; Kurzeggerweg 5L, A-8044 Graz
(AT). ROSSEGGER, Wilfried; Hans-Pascher-Weg 16, A-
8052 Graz (AT). VOIT, Franz; Pirching 38, A-Gleisdorf
8200 (AT).

(74) Anwalt: SONN & PARTNER PATENTANWÄLTE;
Riemergasse 14, A-1010 Wien (AT).

(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, KM, KN,
KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, 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,
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

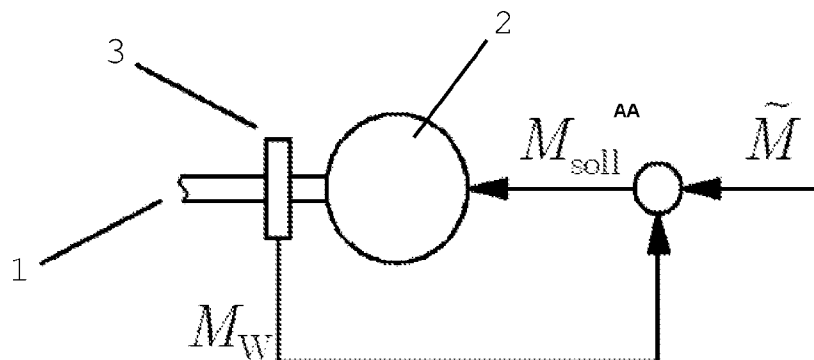
Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR DAMPING VIBRATIONS

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR DÄMPFUNG VON SCHWINGUNGEN



AA M_{target}

Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method for damping vibrations while checking a drivetrain which has at least one shaft (1) and to a device for carrying out the method. The shaft (1) is connected to at least one drive or load machine (2) for adjustment of a drive or load torque, a target value of the drive or load torque being specified for said machine. A shaft torque which is dependent on the relative rotation between two points on the shaft (1) is measured, and the measured shaft torque as such is applied to the target value of the drive or load torque.

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Dämpfung von Schwingungen beim Prüfen eines zumindest eine Welle (1) aufweisenden Antriebsstrangs und Vorrichtung zur

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2013/126940 A1



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)

Durchführung des Verfahrens, wobei die Welle (1) zur Einstellung eines Antriebs- bzw. Belastungsmoments mit zumindest einer Antriebs- bzw. Belastungsmaschine (2) verbunden wird, welcher ein Sollwert des Antriebs- bzw. Belastungsmoments vorgegeben wird, wobei ein von der Relativverdrehung zwischen zwei Stellen der Welle (1) abhängiges Wellenmoment gemessen wird und das gemessene Wellenmoment als solches dem Sollwert des Antriebs- bzw. Belastungsmoments aufgeschaltet wird.

Verfahren zur Dämpfung von Schwingungen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Dämpfung von Schwingungen beim Prüfen eines zumindest eine Welle aufweisenden Antriebsstrangs, wobei die Welle zur Einstellung eines Antriebs- bzw. Belastungsmoments mit zumindest einer Antriebs- bzw. Belastungsmaschine verbunden wird, welcher ein Sollwert des Antriebs- bzw. Belastungsmoments vorgegeben wird, wobei ein von der Relativverdrehung zwischen zwei Stellen der Welle abhängiges Wellenmoment gemessen wird.

Bei einem Antriebsstrang-Prüfstand wird die zu prüfende Komponente (nachstehend auch kurz Prüfling genannt) meist zwangsweise nicht wie an ihrem späteren Einsatzort mit der Umwelt verbunden. Beispielsweise wird ein Verbrennungsmotor am Prüfstand über eine relativ steife Welle an eine Belastungsmaschine angeschlossen, anstatt über einen weicheren Antriebsstrang und über Reifen mit der Straße in Kontakt zu stehen. Dadurch ergeben sich am Prüfstand meist schwach gedämpfte (und dadurch stark ausgeprägte) Resonanzfrequenzen, die der Prüfling an seinem tatsächlichen Einsatzort nicht vorfindet. Werden diese Resonanzfrequenzen vom Prüfling angeregt, können die sich ergebenden Schwingungen das Prüfergebnis massiv beeinflussen oder sogar zur Zerstörung des Prüflings und/oder des Prüfstands führen. Deswegen sind Maßnahmen zur Dämpfung dieser Resonanzfrequenzen am Prüfstand notwendig. Im Folgenden werden die bekannten Methoden aufgezählt. Die Beispiele gehen der Einfachheit halber von einem Prüfstand mit nur einer Welle und einer Belastungsmaschine aus, alle Methoden können aber auch bei Prüfständen mit mehreren Wellen sowie mit Antriebs- und/oder Belastungsmaschinen angewendet werden.

Durch den Einsatz einer weicheren, stärker gedämpften Verbindungswelle können die Resonanzfrequenzen vor allem gesenkt und zusätzlich auch stärker gedämpft werden. Werden die Resonanzfrequenzen durch den Prüfling im Normalbetrieb nicht mehr angeregt (z.B. weil die Leerlaufdrehzahl eines Verbrennungsmotors einer höheren Frequenz entspricht), ist das Problem somit gelöst. Nachteilig wirkt sich die Tiefpasswirkung der weichen Verbindungswelle aus, weiters kann durch Reibung eine nicht unerhebliche Leistung in der Welle umgesetzt werden (die Welle wird heiß

und eventuell zerstört) und schließlich stellt diese Methode keine Lösung für Prüflinge dar, die im Normalbetrieb trotzdem die Resonanzfrequenzen anregen.

Alternativ sind bereits Verfahren zur aktiven Dämpfung bekannt, bei denen der Belastungsmaschine ein zusätzliches Moment aufgebracht wird, das einer Wellendämpfung entspricht. Dafür bräuchte man eigentlich die Differenzwinkelgeschwindigkeit der Welle (vgl. z.B. DE 38 08 524), diese kann aber mit Hilfe des gemessenen Wellenmoments abgeschätzt werden (vgl. EP 1 333 268 A2): Das gemessene Wellenmoment wird differenziert, mit einem Korrekturfaktor gewichtet und dem Drehmomentsollwert der Belastungsmaschine (der beispielsweise vom Ausgang eines Drehzahlreglers stammt) als Korrekturwert aufgeschaltet. Die Differentiation einer Messgröße hat jedoch den Nachteil, dass das immer vorhandene Messrauschen stark verstärkt wird. Zwar könnte man das differenzierte Moment mit einem Tiefpass filtern, allerdings wird dann diese Methode bei höheren Resonanzfrequenzen instabil, wodurch der Einsatz in der Praxis stark eingeschränkt ist.

In der US 5,078,008 A ist eine Steuerungsvorrichtung als Stand der Technik beschrieben, bei der das Drehmoment einer Belastungsmaschine in Abhängigkeit von einem Sollwert und einem gemessenen Wellenmoment geregelt wird. Die Beziehung zwischen dem Sollwert und dem gemessenen Wellenmoment ist dabei jedoch nicht angegeben.

Die DE 102 47 347 A1 zeigt ein Drehmomentregelungssystem, welches Resonanzen bei hohen Drehzahlen durch eine robuste Regelung vermeiden soll, wobei ein Drehmomentregler eine Differenz zwischen dem axialen Solldrehmoment und dem von der Anlage detektierten und ausgegebenen axialen Drehmoment erhält. Die so erhaltene Differenz wird dabei nicht als solche (d.h. direkt) einer Antriebs- bzw. Belastungsmaschine vorgegeben; stattdessen wird eine Übertragungsfunktion, welche ein an das Motorprüfsystem angepasstes μ -Syntheseverfahren implementiert, auf die besagte Differenz angewendet.

Die US 4,468,958 A zeigt einen Prüfstand, bei dem eine Welle eines Antriebsstrangs mit einer Drehmomentmessung verbunden ist,

wobei das gemessene Drehmomentsignal von einem Computer mit einem Referenzdrehmomentsignal verglichen wird. Wie sich das vom Computer ausgegebene Steuersignal aus dem gemessenen Drehmomentsignal und dem Referenzdrehmomentsignal bestimmt, ist dabei nicht angegeben.

Aus der AT 010 301 U2 ist weiters ein Verfahren bekannt, bei dem Messdaten über einen Arbeitszyklus (z.B. 720° Kurbelwinkel bei einem Vier-Takt-Motor) gespeichert und für eine Vorhersage zukünftiger Sollwerte genutzt werden, mit denen die Resonanzfrequenzen besser gedämpft sind. Da aber die dämpfende Wirkung erst bei zukünftigen Arbeitszyklen wirksam wird, funktioniert diese Methode nur im eingeschwungenen Zustand, wodurch der Praxiseinsatz bei transienten Prüfungen problematisch ist. Außerdem stellt die Speicherung der Messdaten im Regler einen nicht unerheblichen Aufwand dar.

Schließlich ist aus der US 8,006,548 B2 eine robuste Regelung bekannt, wobei basierend auf einem genauen mathematischen Modell des Prüfstands Regler entworfen werden, die auch bei leichten Parameterschwankungen den Prüfstand geeignet regeln. Allerdings muss am Prüfstand auch mit starken Parameterschwankungen im Betrieb gerechnet werden, weiters ist über den Prüfling üblicherweise wenig bekannt. In der Praxis kann man vom Prüfstands-Bedienpersonal nicht erwarten, dass für jeden neuen Prüfling ein passender robuster Regler entworfen wird.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren der eingangs angeführten Art bzw. eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens zu schaffen, welches sich einer einfachen und gegen Messrauschen unempfindlichen Regelung bedient, auch bei transienten Prüfungen – insbesondere bei der erstmaligen Prüfung eines Prüflings – die gewünschte Dämpfung erzielt und keine Kenntnisse über Parameter des Prüflings oder des Prüfstands voraussetzt.

Zur Lösung der gestellten Aufgabe sieht die Erfindung ein Verfahren wie eingangs angegeben vor, das dadurch gekennzeichnet ist, dass das gemessene Wellenmoment als solches (d.h. direkt und dem Betrag nach unverändert) dem Sollwert des Antriebs- bzw.

Belastungsmoments aufgeschaltet wird. Vorzugsweise wird das gemessene Wellenmoment direkt, d.h. insbesondere ohne ein zwischengeschaltetes Differenzierglied, zum Sollwert des Antriebs- bzw. Belastungsmoments addiert.

In entsprechender Weise sieht die Erfindung bei der Vorrichtung wie eingangs angegeben vor, dass die Messeinheit zum Messen des Wellenmoments direkt mit der Einheit zur Bestimmung des Sollwerts des Antriebs- bzw. Belastungsmoments verbunden ist, so dass das gemessene Wellenmoment als solches dem Sollwert des Antriebs- bzw. Belastungsmoments aufschaltbar ist.

Idealerweise wird dadurch bei einem Sollwert von Null das Wellenmoment exakt gegengleich auf die Belastungsmaschine aufgeschaltet. Das Summenmoment für die Belastungsmaschine ist somit Null und die Drehzahl bleibt konstant. Man erhält also eine perfekt konstante Drehzahlregelung, wobei man mit einem Sollwert ungleich Null die Drehzahl auch ändern kann. Gegenüber dem Prüfling wirkt die Belastungsmaschine somit wie ein unendlich großes Trägheitsmoment, wodurch eigentlich keine dämpfende Wirkung zu erwarten wäre - im Gegenteil, eigentlich würden sich durch das größere Trägheitsmoment die Verhältnisse am Prüfstand verschlimmern. Dass das erfindungsgemäße Verfahren in der Praxis doch eine hervorragende dämpfende Wirkung zeigt, ist selbst für einen Fachmann nicht naheliegend und wird weiter unten anhand einer systemtechnischen Untersuchung gezeigt.

Der vorliegende Ansatz unterscheidet sich von der Vorgehensweise gemäß Stand der Technik vor allem dadurch, dass die erfindungsgemäße Regelung ohne die Differentiation eines Messwerts auskommt. Die Vorteile bestehen folglich darin, dass diese Regelung deutlich einfacher als der Stand der Technik und gleichzeitig robust gegen Messrauschen ist.

Wie sich bei genauer Untersuchung herausstellt, erweist es sich als zweckmäßig, wenn das gemessene Wellenmoment über eine von einem Differenzierglied freie Verzögerungsstrecke mit dem Sollwert des Antriebs- bzw. Belastungsmoments verknüpft wird. Die Verzögerungsstrecke ist vorzugsweise so ausgelegt, dass eine geeignete Dämpfung der Resonanzfrequenzen erzielt wird.

Außerdem ist es günstig, wenn das gemessene Wellenmoment, bevor es dem Sollwert des Antriebs- bzw. Belastungsmoments aufgeschaltet wird, durch eine frequenzabhängige Übertragungsfunktion 1. Ordnung

$$G(s) = \frac{M_2(s)}{M_w(s)} = \frac{1}{\tau s + 1}$$

modifiziert wird. Unter Verwendung dieser Übertragungsfunktion kann die Dämpfung der Resonanzfrequenzen geeignet beschrieben und infolgedessen optimiert werden.

Bevorzugt ist das erfindungsgemäße Verfahren so eingerichtet, dass die Verzögerung zwischen dem gemessenen Wellenmoment und der resultierenden Rückwirkung im Antriebs- bzw. Belastungsmoment im Millisekundenbereich liegt, vorzugsweise weniger als ca. 20 ms, insbesondere 1 - 10 ms, beträgt. Bei einer Verzögerung in dem angegebenen Bereich wird eine optimale Dämpfung der Resonanzfrequenzen erzielt.

In Hinblick auf die erzielte Dämpfungswirkung kann das Verfahren dahingehend verbessert werden, dass das gemessene Wellenmoment mit einem konstanten Gewichtungsfaktor multipliziert und anschließend auf den Sollwert des Antriebs- bzw. Belastungsmoments aufgeschaltet wird. Der Vorteil hierbei ist, dass mithilfe des Gewichtungsfaktors eine („stufenlose“) Einstellung der Dämpfungswirkung erzielt wird.

Zur Regelung einer Drehzahl der Welle wird das gemessene Wellenmoment vorzugsweise mit einer Drehmomentvorgabe eines Reglers, insbesondere eines Drehzahlreglers, verknüpft. Dadurch lässt sich das erfindungsgemäße Verfahren vorteilhaft auch bei einer Prüfung bei unterschiedlichen, gegebenenfalls variierenden Drehzahlen einsetzen.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von besonders bevorzugten Ausführungsbeispielen, auf die sie jedoch nicht beschränkt sein soll, und unter Bezugnahme auf die Zeichnung noch weiter erläutert. In der Zeichnung zeigen im Einzelnen:

Fig. 1 schematisch einen Ausschnitt aus einer Prüfstandsanordnung mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

Fig. 2 ein Modell einer Prüfstandsanordnung mit einer Welle;

Fig. 3 schematisch das Modell gemäß Fig. 2 ohne aktive Dämpfungsmaßnahmen;

Fig. 4 schematisch das Modell gemäß Fig. 2 mit einer idealisierten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 5 schematisch das Modell gemäß Fig. 2 mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bei realen Verhältnissen; und

Fig. 6 die Wurzelortskurve der aus dem Modell gemäß Fig. 5 abgeleiteten Führungsübertragungsfunktion bei realen Verhältnissen.

Fig. 1 illustriert das erfindungsgemäße Verfahren anhand einer teilweise schematischen Darstellung der involvierten Komponenten. Der Prüfling (nicht dargestellt) ist über eine Welle 1 mit einer Belastungsmaschine 2 verbunden. Das Drehmoment der Belastungsmaschine 2 wird in Form eines Sollwerts vorgegeben. An der Welle 1 wird eine Drehmomentmessung 3 durchgeführt und das Ergebnis der Messung 3 wird als solches dem Sollwert des Antriebs- bzw. Belastungsmoments aufgeschaltet/addiert. Die Vorgabe der Belastungsmaschine 2 entspricht somit der Summe (bzw. bei umgekehrtem Vorzeichen der Differenz) des ursprünglichen Sollwerts und des gemessenen Drehmoments. Angenommen der Sollwert des Antriebs- bzw. Belastungsmoments beträgt Null, wird jedes an der Welle 1 gemessene Moment von der Belastungsmaschine 2 kompensiert und die Drehzahl bleibt konstant. Dass ein Moment an der Welle 1 keine Änderung der Drehzahl bewirkt bedeutet, dass die Belastungsmaschine 2 scheinbar ein unendlich großes Trägheitsmoment aufweist. Dadurch würde jedoch keine Dämpfung sondern lediglich eine Verschiebung der Resonanzfrequenzen des Prüfstands bewirkt.

Dass das erfindungsgemäße Verfahren die gewünschte Dämpfung erzielt, zeigt sich erst bei einer genaueren Untersuchung, welche

hier der Einfachheit halber an einem Prüfstand mit einer Welle 1 durchgeführt wird. Das Verfahren kann aber selbstverständlich auch bei Prüfständen mit mehreren Wellen sowie mit Antriebs- und/oder Belastungsmaschinen eingesetzt werden.

Fig. 2 zeigt modellhaft eine Prüfstandsordnung 4 mit einer Welle 1. Die Welle 1 verbindet einen Prüfling 5 mit einer Belastungsmaschine 2. Der Prüfling 5 hat das Trägheitsmoment J_1 , liefert das Moment M_1 und dreht sich mit der Winkelgeschwindigkeit ω_1 . Die Belastungsmaschine 2 hat das Trägheitsmoment J_2 , liefert das Moment M_2 und dreht sich mit der Winkelgeschwindigkeit ω_2 . Die Drallsätze lauten

$$J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = M_1 - M_w \quad J_2 \frac{d\omega_2}{dt} = M_w - M_2$$

mit dem Wellenmoment M_w , für das vereinfachend (ohne Dämpfung der Welle)

$$M_w = c_w(\varphi_1 - \varphi_2)$$

mit der Federsteifigkeit c_w der Welle 1 und der Winkeldifferenz $\varphi_1 - \varphi_2$ zwischen Prüfling 5 und Belastungsmaschine 2 gilt. Die in der Mitte der Welle 1 angedeutete Feder 6 dient der Illustration der endlichen Torsionssteifigkeit der Welle 1.

In Fig. 3 ist modellhaft der systemtechnische Zusammenhang der Momente am Prüfling 5 (M_1) an der Belastungsmaschine 2 (M_2) und an der Welle 1 (M_w) dargestellt. Die Verknüpfungen der Momente in dem dargestellten Fall ohne aktive Dämpfungsmaßnahmen werden durch folgende Übertragungsfunktionen P_1 und P_2 dargestellt:

$$P_1(s) = \frac{M_w(s)}{M_1(s)} = \frac{\frac{c_w}{J_1}}{s^2 + \left(\frac{c_w}{J_1} + \frac{c_w}{J_2}\right)}$$

$$P_2(s) = \frac{M_w(s)}{M_2(s)} = \frac{\frac{c_w}{J_2}}{s^2 + \left(\frac{c_w}{J_1} + \frac{c_w}{J_2}\right)}$$

Die Pole der beiden Übertragungsfunktionen liegen auf der imaginären Achse und entsprechen daher einer ungedämpften Resonanzfrequenz

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_W}{J_1} + \frac{c_W}{J_2}}$$

Fig. 4 erhält man durch eine Erweiterung des Modells gemäß Fig. 3 um das erfindungsgemäße Verfahren, wobei – wie sich herausstellt – dieses Modell nicht den realen Verhältnissen entspricht. Im Unterschied zu Fig. 3 wird hier das Wellenmoment M_W direkt als Moment M_2 der Belastungsmaschine aufgeschaltet. Durch diese Rückkopplung erhält man als „Führungsübertragungsfunktion“

$$T_{\text{ideal}}(s) = \frac{M_W(s)}{M_1(s)} = \frac{P_1(s)}{1 - P_2(s)} = \frac{\frac{c_W}{J_1}}{s^2 + \frac{c_W}{J_1}}$$

Die Pole von T_{ideal} liegen, wie jene von P_1 und P_2 , auf der imaginären Achse und entsprechen einer niedrigeren aber nach wie vor ungedämpften Resonanzfrequenz

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_W}{J_1}}$$

Gegenüber dem rückkopplungsfreien Modell aus Fig. 3 wurde also kein Vorteil erzielt.

Erst Fig. 5 zeigt modellhaft das erfindungsgemäße Verfahren bei realen Verhältnissen. Anders als in Fig. 4 wird darin berücksichtigt, dass das Wellenmoment M_W in Wirklichkeit gar nicht direkt als Moment M_2 der Belastungsmaschine 2 aufgeschaltet werden kann. Die Messung 3 des Wellenmoments und der Momentenaufbau in der Belastungsmaschine 2 bewirken eine nicht zu vernachlässigende Verzögerung. Die exakte mathematische Beschreibung dieser Verzögerung ist schwierig, es kann jedoch vereinfachend für die weitere Betrachtung die Übertragungsfunktion 1. Ordnung

$$G(s) = \frac{M_2(s)}{M_W(s)} = \frac{1}{\tau s + 1}$$

mit der Zeitkonstante τ verwendet werden. Die ursprünglich di-

rekte Rückkopplung wird also bei realen Verhältnissen durch eine Übertragungsfunktion G modifiziert. Als „Führungsübertragungsfunktion“ ergibt sich unter Berücksichtigung der modifizierten Rückkopplung

$$T_{\text{real}}(s) = \frac{M_W(s)}{M_1(s)} = \frac{P_1(s)}{1 - G(s)P_2(s)} = \frac{\tau \frac{C_W}{J_1} s + \frac{C_W}{J_1}}{\tau s^3 + s^2 + \tau \left(\frac{C_W}{J_1} + \frac{C_W}{J_2} \right) s + \frac{C_W}{J_1}}$$

Im Unterschied zu T_{ideal} hat T_{real} offenbar drei Polstellen. Die Lage dieser Pole könnte zwar exakt berechnet werden, was aber nicht zum Verständnis der Dämpfungswirkung beiträgt. Als hilfreich erweist sich hingegen ein regelungstechnisches Werkzeug, das sogenannte Wurzelortskurvenverfahren. Die Übertragungsfunktion eines fiktiven offenen Kreises

$$L(s) = \tau \frac{Z(s)}{N(s)}$$

mit den Polynomen

$$Z(s) = \left[s^2 + \left(\frac{C_W}{J_1} + \frac{C_W}{J_2} \right) s \right]$$

$$N(s) = s^2 + \frac{C_W}{J_1}$$

ergibt die Führungsübertragungsfunktion

$$T(s) = \frac{L(s)}{1 + L(s)} = \frac{\tau Z(s)}{\tau Z(s) + N(s)}$$

Ein Vergleich mit T_{real} zeigt, dass die beiden Führungsübertragungsfunktionen den gleichen Nenner und folglich die gleichen Polstellen haben, deren Ort sich somit mit dem Wurzelortskurvenverfahren leicht in Abhängigkeit der Zeitkonstante τ darstellen lässt (s. Fig. 6).

In Fig. 6 ist die Wurzelortskurve 7 von T_{real} aufgetragen. Die Pfeile 8 weisen in Richtung der Verschiebung der Polstellen bei zunehmender Zeitkonstante τ . Die für die Resonanz entscheidenden Pole bewegen sich mit größer werdendem τ auf Halbkreisen von den rein imaginären Nullstellen von N 9, welche den Polen von T_{ideal} entsprechen, zu den ebenfalls rein imaginären Nullstellen von Z

10, welche den Polen von P_1 und P_2 entsprechen. Für kleine Zeitkonstanten τ wandern die Pole von T_{real} aber von der imaginären Achse in die linke Halbebene, was bedeutet dass sie dort einen von Null abweichenden Realteil aufweisen. Ein von Null abweichender Realteil entspricht einer Dämpfung der Resonanz.

In der Praxis ist eine künstliche Vergrößerung der Zeitkonstante τ weder notwendig noch sinnvoll, da bereits durch die Messung 3 des Wellenmoments und den Momentenaufbau eine Verzögerung im Millisekundenbereich, beispielsweise von etwa 1 - 10 ms, auftritt. Eine weitere, künstliche Verzögerung würde die dämpfende Wirkung wieder abschwächen, da die Polstellen bei großen Zeitkonstanten τ sich immer weiter den Nullstellen von Z annähern.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Dämpfung von Schwingungen beim Prüfen eines zumindest eine Welle (1) aufweisenden Antriebsstrangs, wobei die Welle (1) zur Einstellung eines Antriebs- bzw. Belastungsmoments mit zumindest einer Antriebs- bzw. Belastungsmaschine (2) verbunden wird, welcher ein Sollwert des Antriebs- bzw. Belastungsmoments vorgegeben wird, wobei ein von der Relativverdrehung zwischen zwei Stellen der Welle (1) abhängiges Wellenmoment gemessen wird, dadurch gekennzeichnet, dass das gemessene Wellenmoment als solches dem Sollwert des Antriebs- bzw. Belastungsmoments aufgeschaltet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das gemessene Wellenmoment über eine von einem Differenzierglied freie Verzögerungsstrecke mit dem Sollwert des Antriebs- bzw. Belastungsmoments verknüpft wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das gemessene Wellenmoment bevor es dem Sollwert des Antriebs- bzw. Belastungsmoments aufgeschaltet wird durch eine frequenzabhängige Übertragungsfunktion 1. Ordnung

$$G(s) = \frac{M_2(s)}{M_w(s)} = \frac{1}{\tau s + 1}$$

modifiziert wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Verzögerung zwischen dem gemessenen Wellenmoment und der resultierenden Rückwirkung im Antriebs- bzw. Belastungsmoment im Millisekundenbereich liegt, vorzugsweise weniger als ca. 20 ms, insbesondere 1 - 10 ms, beträgt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das gemessene Wellenmoment mit einem konstanten Gewichtungsfaktor multipliziert und anschließend auf den Sollwert des Antriebs- bzw. Belastungsmoments aufgeschaltet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das gemessene Wellenmoment zur Regelung einer

Drehzahl der Welle mit einer Drehmomentvorgabe eines Reglers, insbesondere eines Drehzahlreglers, verknüpft wird.

7. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6, mit einem Antriebsstrang mit zumindest einer Welle (1), welche mit zumindest einer Antriebs- bzw. Belastungsmaschine (2) zur Einstellung eines Antriebs- bzw. Belastungsmoments an der Welle (1) gekoppelt ist, mit einer Einheit zur Bestimmung eines Sollwerts des Antriebs- bzw. Belastungsmoments, und mit einer Messeinheit (3) zum Messen eines von der Relativverdrehung zwischen zwei Stellen der Welle abhängigen Wellenmoments, dadurch gekennzeichnet, dass die Messeinheit (3) zum Messen des Wellenmoments direkt mit der Einheit zur Bestimmung des Sollwerts des Antriebs- bzw. Belastungsmoments verbunden ist, so dass das gemessene Wellenmoment als solches dem Sollwert des Antriebs- bzw. Belastungsmoments aufschaltbar ist.

1/3

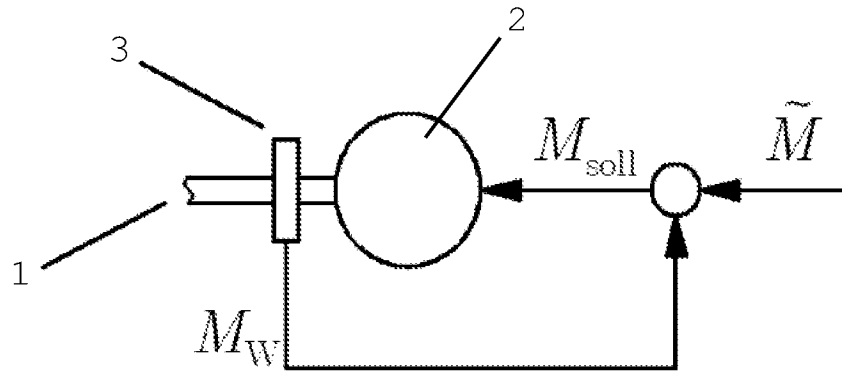


Fig. 1

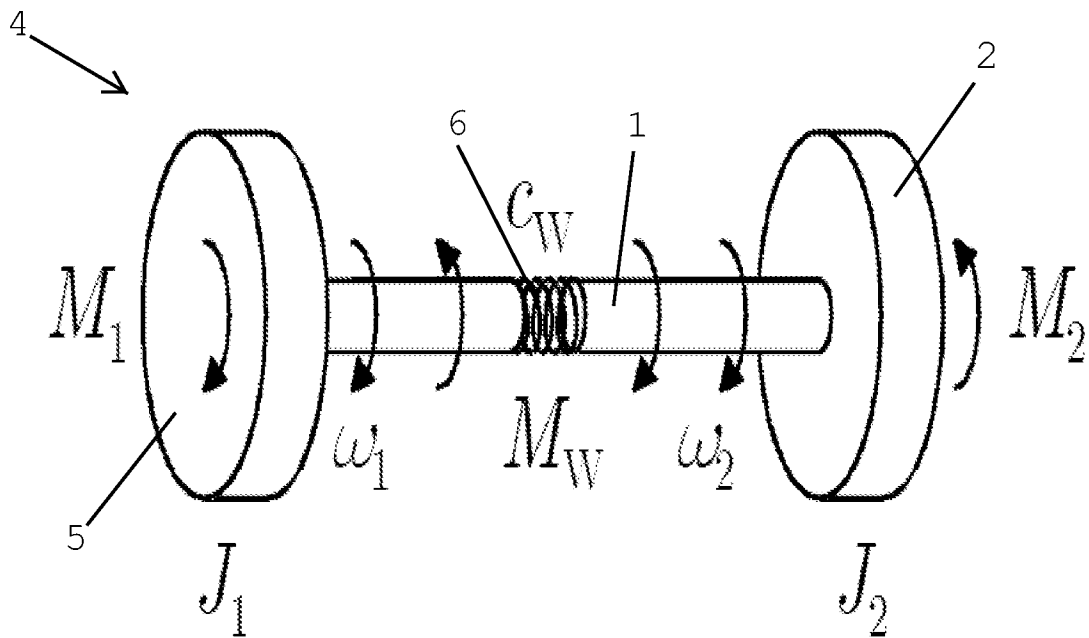


Fig. 2

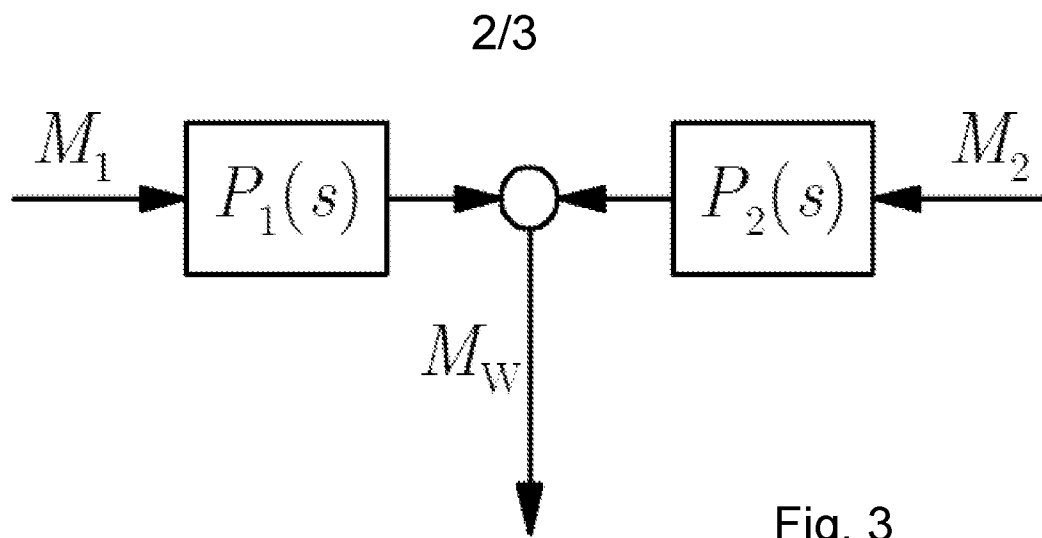


Fig. 3

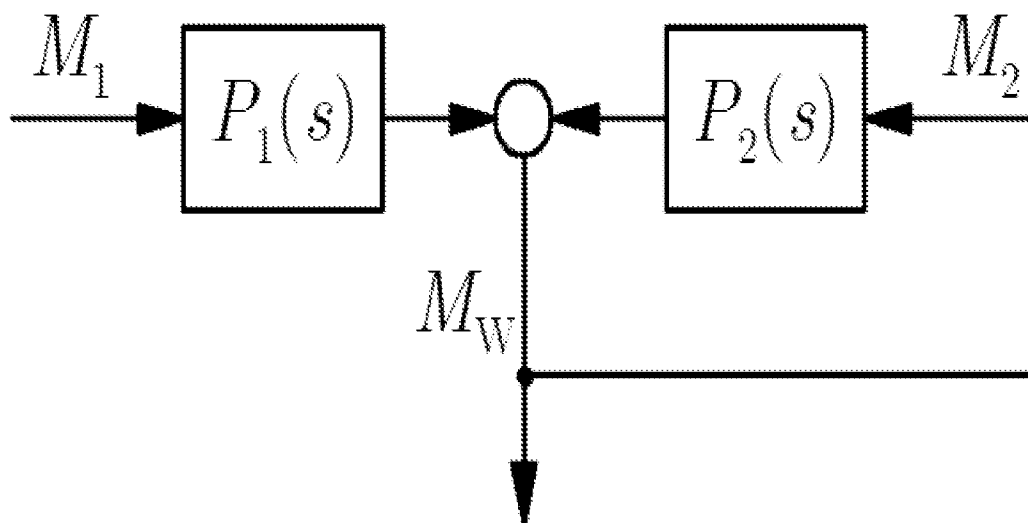


Fig. 4

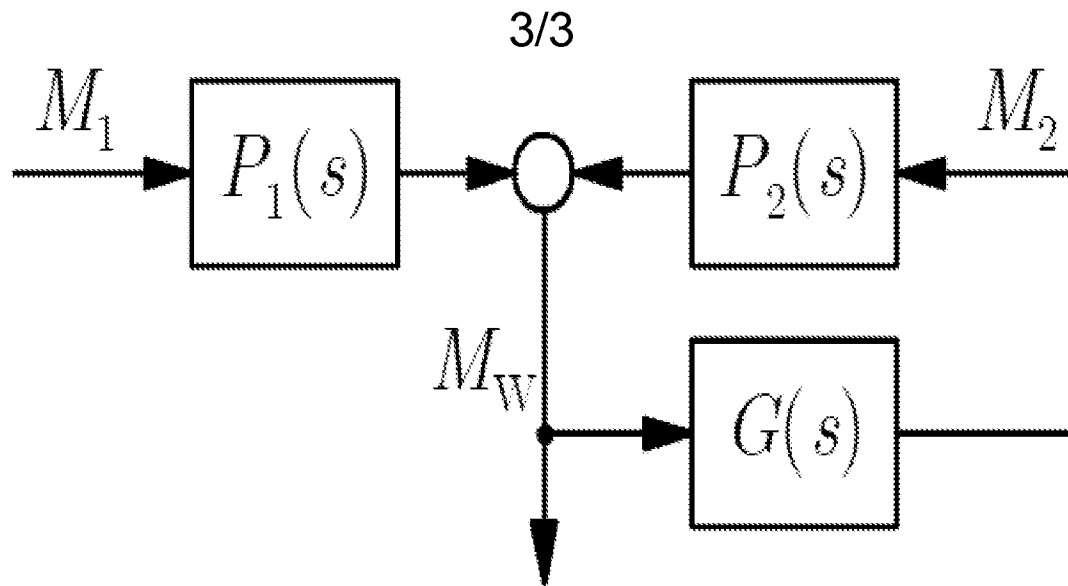


Fig. 5

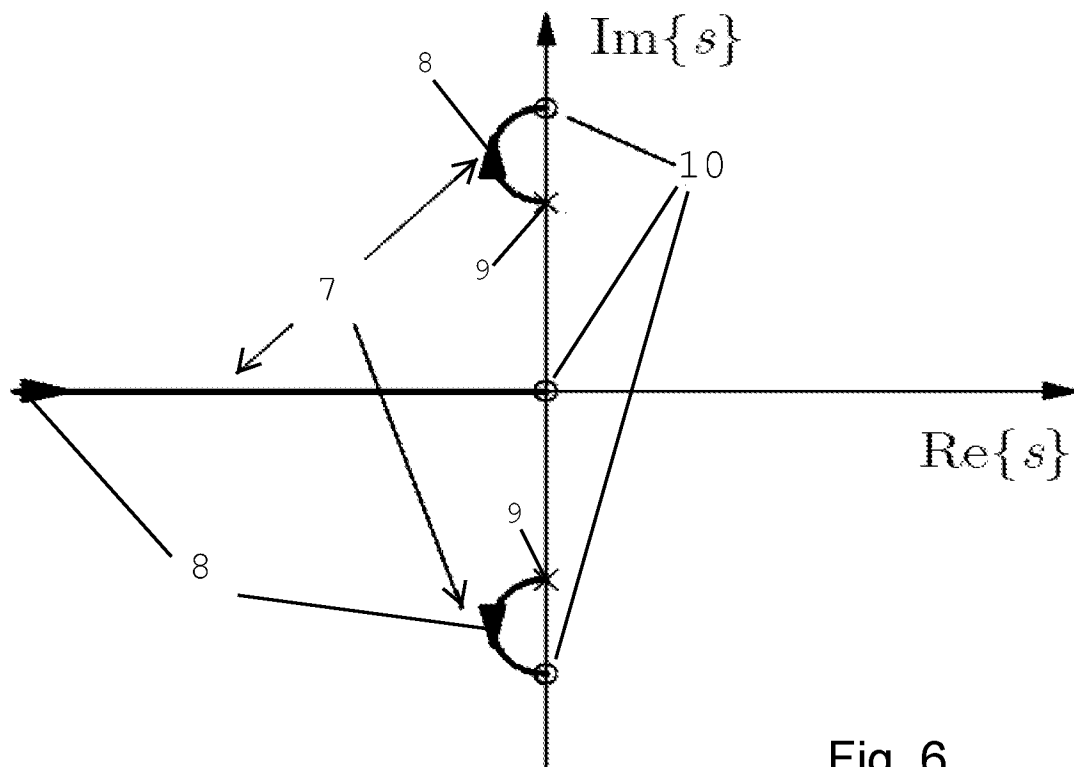


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/AT2013/050052

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01M13/02
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)
G01M

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2011/022746 A1 (UNIV WIEN TECH [AT]; SEIBT KRISTL & CO GMBH [AT]; JAKUBEK STEFAN [AT];) 3 March 2011 (2011-03-03) claims 1-5; figures 1-3 -----	1-7
A	AT 7 889 U2 (AVL LIST GMBH [AT]) 25 October 2005 (2005-10-25) figures 1-4 -----	1-7



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

10 June 2013

Date of mailing of the international search report

24/06/2013

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

Vytlacilová, Lenka

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/AT2013/050052

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2011022746 A1	03-03-2011	AT 508909 A4 WO 2011022746 A1	15-05-2011 03-03-2011
AT 7889 U2	25-10-2005	AT 7889 U2 CN 1880939 A DE 102006025878 A1 US 2006288764 A1	25-10-2005 20-12-2006 28-12-2006 28-12-2006

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01M13/02
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01M

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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2011/022746 A1 (UNIV WIEN TECH [AT]; SEIBT KRISTL & CO GMBH [AT]; JAKUBEK STEFAN [AT];) 3. März 2011 (2011-03-03) Ansprüche 1-5; Abbildungen 1-3 -----	1-7
A	AT 7 889 U2 (AVL LIST GMBH [AT]) 25. Oktober 2005 (2005-10-25) Abbildungen 1-4 -----	1-7



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

10. Juni 2013

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

24/06/2013

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

Vytlacilová, Lenka

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/AT2013/050052

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2011022746 A1	03-03-2011	AT 508909 A4	15-05-2011
		WO 2011022746 A1	03-03-2011

AT 7889 U2	25-10-2005	AT 7889 U2	25-10-2005
		CN 1880939 A	20-12-2006
		DE 102006025878 A1	28-12-2006
		US 2006288764 A1	28-12-2006
