(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
22. März 2018 (22.03.2018)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/050657 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01D 5/244 (2006.01) *G01D 5/22* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/072931

(22) Internationales Anmeldedatum:
12. September 2017 (12.09.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 217 695.1
15. September 2016 (15.09.2016) DE

(71) Anmelder: **CONTI TEMIC MICROELECTRONIC GMBH** [DE/DE]; Sieboldstraße 19, 90411 Nürnberg (DE).

(72) Erfinder: **FUNK, Waldemar**; Vogelherd 39, 91058 Erlangen (DE).

(74) Anwalt: **BONN, Roman**; c/o Continental Automotive GmbH, Postfach 22 16 39, 80506 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

WO 2018/050657 A1

(54) **Title:** DETECTION OF AN ERROR IN A RESOLVER

(54) **Bezeichnung:** ERKENNEN EINES FEHLERS BEI EINEM RESOLVER

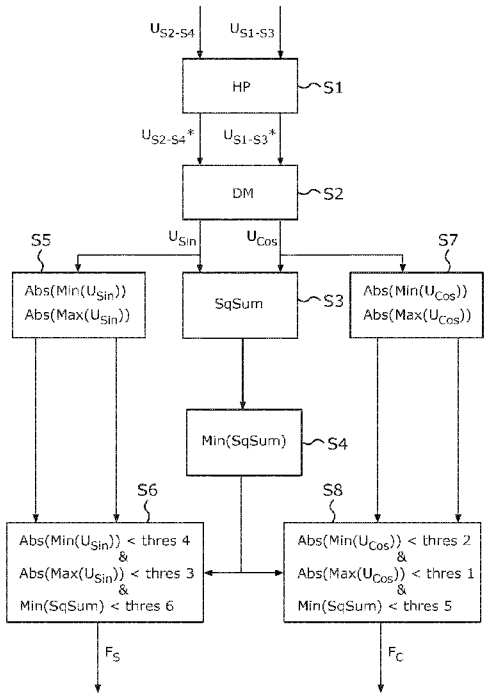


Fig.2

(57) Abstract: Errors in a resolver need to be detected more reliably. To this end, a method is provided for detecting an error in a resolver by a) computing a square sum (SqSum) of a first measurement signal (U_{Sin}) and a second measurement signal (U_{Cos}) of the resolver and b) outputting an error signal (F_s, F_c), and also c) determining a minimum of the square sum (SqSum), d) determining an absolute value of a minimum value of the first measurement signal (U_{Sin}), e) determining an absolute value of a maximum value of the first measurement signal (U_{Sin}), f) comparing the minimum of the square sum (SqSum) with a first threshold value (thres6), g) comparing the absolute value of the minimum value of the first measurement signal (U_{Sin}) with a second threshold value (thres4) and h) comparing the absolute value of the maximum value of the first measurement signal (U_{sin}) with a third threshold value (thres3), wherein i) the error signal for the first measurement signal (U_{Sin}) is output only if the minimum of the square sum (SqSum) is less than the first threshold value (thres6), the absolute value of the minimum value of the first measurement signal (U_{Sin}) is less than the second threshold value (thres4) and the absolute value of the maximum value of the first measurement signal (U_{Sin}) is less than the third threshold value (thres3).

(57) Zusammenfassung: Fehler bei einem Resolver sollen zuverlässiger erkannt werden. Dazu wird bereitgestellt ein Verfahren zum Erkennen eines Fehlers bei einem Resolver durch a) Berechnen einer Quadratsumme (SqSum) eines ersten Messsignals (U_{Sin}) und eines zweiten Messsignals (U_{Cos}) des Resolvers und b) Ausgeben eines Fehlersignals (F_s, F_c), sowie c) Bestimmen eines Minimums der Quadratsumme (SqSum), d) Bestimmen eines Betrags eines Minimalwerts des ersten Messsignals (U_{Sin}), e) Bestimmen eines Betrags eines Maximalwerts des ersten Messsignals (U_{Sin}), f) Vergleichen des Minimums der Quadratsumme (SqSum) mit einem ersten Schwellwert (thres6), g) Vergleichen des Betrags des Minimalwerts des ersten Messsignals (U_{Sin})

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

mit einem zweiten Schwellwert (thres4) und h) Vergleichen des Betrags des Maximalwerts des ersten Messsignals (U_{sin}) mit einem dritten Schwellwert (thres3), wobei i) das Fehlersignal bezüglich des ersten Messsignals (U_{Sin}) nur dann ausgegeben wird, wenn das Minimum der Quadratsumme (SqSum) kleiner als der erste Schwellwert (thres6), der Betrag des Minimalwerts des ersten Messsignals (U_{Sin}) kleiner als der zweite Schwellwert (thres4) und der Betrag des Maximalwerts des ersten Messsignals (U_{Sin}) kleiner als der dritte Schwellwert (thres3) ist.

Beschreibung

Erkennen eines Fehlers bei einem Resolver

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erkennen eines Fehlers bei einem Resolver durch Berechnen einer Quadratsumme eines ersten Messsignals und eines zweiten Messsignals des Resolvers und Ausgeben eines Fehlersignals. Darüber hinaus betrifft die vorliegende Erfindung eine Resolvervorrichtung mit einem Resolver und einer Fehlerermittlungseinrichtung zum Berechnen einer Quadratsumme eines ersten Messsignals und eines zweiten Messsignals des Resolvers sowie einer Ausgabeeinrichtung zum Ausgeben eines Fehlersignals.

In elektrischen Antriebssystemen mit permanent erregten oder fremderregten Synchronmaschinen als Antriebsmotor ist die Rotorlage des elektrischen Motors eine signifikante Information für die Motorregelung. Bei Anwendungen mit hohen Genauigkeitsanforderungen an das Drehmoment und folglich auch an die Rotorlageerfassung ist der Einsatz eines Resolvers ein weit verbreiteter Ansatz.

Zur Vermeidung von ungewollten Drehmomenten ist es Aufgabe des Sicherheitskonzepts, Fehler in der Rotorlageerfassung zu erkennen. Bislang genutzte Diagnosekonzepte zur Erkennung von Signalunterbrechungen und Kurzschlüssen der Resolverausgangssignale sind aus Gründen der Robustheit des jeweiligen Systems oft nicht ausreichend.

Resolver werden typischerweise mit einer Frequenz von beispielsweise 10 bis 20 kHz gespeist. Durch diese alternierende Resolver-Erregerspannung ist auch eine Erkennung der Position im Stillstand des Motors möglich. Im Betrieb des Resolvers wird die Resolver-Erregerspannung entsprechend der Drehung des Motors bzw. des Resolvers moduliert. Der Resolver liefert ein sinus-bezogenes Messrohsignal und cosinus-bezogenes Messrohsignal. Aus diesen Signalen wird durch die Modulation eine

Hüllkurve der Resolver-Sinus-Spannung und eine Hüllkurve der Resolver-Cosinus-Spannung gewonnen.

Zur Erkennung externer Fehler der Resolversignale wird bislang häufig das Summenquadrat SqSum der Hüllkurvensignale U_{Sin} und U_{Cos} genutzt: $SqSum = U_{Sin}(t)^2 + U_{Cos}(t)^2$

Im Fehlerfreien Zustand hat das Summenquadrat SqSum einen konstanten Wert, wie Fig. 1 im Bereich 1 zeigt. Für die Überprüfung wird ein valider Bereich 2 festgelegt, der ein Toleranzband um ein nominales Summenquadrat 3 darstellt.

Ein externer Fehler, der beispielsweise nach dem Zeitpunkt 4 (vgl. Fig. 1) auftritt und nur ein Resolverausgangssignal betrifft, führt zu eine oszillierenden Summenquadrat-Signal 5. Eine Fehlererkennung kann in diesem Fall nicht garantiert werden, da sich das Summenquadrat-Signal zwischen validem und invalidem Signalbereich bewegen kann, sodass der Mittelwert des Summenquadrat-Signals, der in dem gewählten Beispiel knapp unter dem nominalen Summenquadrat 3 liegt, weiterhin valide ist. Die Mittelwertbildung muss aus Robustheitsgründen angewendet werden.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, Resolverfehler, insbesondere Signalunterbrechungen und Kurzschlüsse der Resolverausgangssignale, sicherer erkennen zu können.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst durch ein Verfahren nach Anspruch 1 sowie eine Resolvervorrichtung nach Anspruch 6. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Entsprechend der vorliegenden Erfindung wird demnach bereitgestellt ein Verfahren zum Erkennen eines Fehlers bei einem Resolver durch

a) Berechnen einer Quadratsumme eines ersten Messsignals und eines zweiten Messsignals des Resolvers und
b) Ausgeben eines Fehlersignals,

sowie

c) Bestimmen eines Minimums der Quadratsumme,

d) Bestimmen eines Betrags eines Minimalwerts des ersten Messsignals,

e) Bestimmen eines Betrags eines Maximalwerts des ersten Messsignals,

f) Vergleichen des Minimums der Quadratsumme mit einem ersten Schwellwert,

g) Vergleichen des Betrags des Minimalwerts des ersten Messsignals mit einem zweiten Schwellwert und

h) Vergleichen des Betrags des Maximalwerts des ersten Messsignals mit einem dritten Schwellwert, wobei

i) das Fehlersignal bezüglich des ersten Messsignals nur dann ausgegeben wird, wenn das Minimum der Quadratsumme kleiner als der erste Schwellwert, der Betrag des Minimalwerts des ersten Messsignals kleiner als der zweite Schwellwert und der Betrag des Maximalwerts des ersten Messsignals kleiner als der dritte Schwellwert ist.

In vorteilhafter Weise wird also nicht nur die Quadratsumme bezüglich ihres Mittelwerts untersucht, sondern es wird das Minimum der Quadratsumme überprüft. Wenn der entsprechende Minimalwert unter einem ersten Schwellwert liegt, liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit bereits ein Fehler vor. Zusätzlich wird der Minimalwert und Maximalwert des Messsignals (z.B. Sinussignal oder Cosinussignal) betrachtet. Es wird dann erst ein Fehlersignal bezüglich des analysierten Messsignals ausgegeben, wenn nicht nur das Minimum der Quadratsumme den ersten Schwellwert unterschreitet, sondern auch der Betrag des Mittelwerts des Messsignals kleiner als ein zweiter Schwellwert und der Betrag des Maximalwerts des Messsignals kleiner als ein dritter Schwellwert ist. Damit wird nämlich der Messwertebereich zusätzlich mit untersucht.

In einer Ausgestaltung werden die Schritte d) bis i) ersetzt oder ergänzt durch die Schritte:

j) Bestimmen eines Betrags eines Minimalwerts des zweiten Messsignals,

k) Bestimmen eines Betrags eines Maximalwerts des zweiten Messsignals,
l) Vergleichen des Minimums der Quadratsumme mit einem vierten Schwellwert,
m) Vergleichen des Betrags des Minimalwerts des zweiten Messsignals mit einem fünften Schwellwert und
n) Vergleichen des Betrags des Maximalwerts des zweiten Messsignals mit einem sechsten Schwellwert, wobei
o) das Fehlersignal bezüglich des zweiten Messsignals nur dann ausgegeben wird, wenn das Minimum der Quadratsumme kleiner als der vierte Schwellwert, der Betrag des Minimalwerts des zweiten Messsignals kleiner als der fünfte Schwellwert und der Betrag des Maximalwerts des zweiten Messsignals kleiner als der sechste Schwellwert ist.

Damit werden beide Messsignale des Resolvers auf die gleiche Art analysiert. Alternativ wird statt des ersten Messsignals nur das zweite Messsignal derart analysiert.

Das erste Messsignal kann ein Sinussignal und das zweite Messsignal ein Cosinussignal des Resolvers sein, oder umgekehrt. Bei dem Sinussignal und dem Cosinussignal kann es sich jeweils um ein Rohsignal des Resolvers handeln oder aber auch um ein bereits weiter verarbeitetes Rohsignal.

Vorzugsweise werden vor dem Berechnen der Quadratsumme das erste Messsignal und das zweite Messsignal jeweils durch Demodulation gewonnen. Dabei wird das bzw. die Rohsignale des Resolvers bzw. bereits weiter verarbeitete Signale demoduliert und hierdurch von der hochfrequenten Erregerspannung befreit.

Des Weiteren kann zum Gewinnen des ersten Messsignals und des zweiten Messsignals eine Hochpassfilterung durchgeführt werden. So können beispielsweise die Messrohsignale des Resolvers einem Hochpassfilter zugeführt werden, um Spannungsgleichanteile zu eliminieren.

Die oben genannte Aufgabe wird erfindungsgemäß auch gelöst durch eine Resolvervorrichtung mit

- einem Resolver und
- einer Fehlerermittlungseinrichtung zum Berechnen einer Quadratsumme eines ersten Messsignals und eines zweiten Messsignals des Resolvers und
- einer Ausgabeeinrichtung zum Ausgeben eines Fehlersignals,

wobei

a) die Fehlerermittlungseinrichtung ausgebildet ist zum:
   - Bestimmen eines Minimums der Quadratsumme,
   - Bestimmen eines Betrags eines Minimalwerts des ersten Messsignals,
   - Bestimmen eines Betrags eines Maximalwerts des ersten Messsignals,
   - Vergleichen des Minimums der Quadratsumme mit einem ersten Schwellwert,
   - Vergleichen des Betrags des Minimalwerts des ersten Messsignals mit einem zweiten Schwellwert und
   - Vergleichen des Betrags des Maximalwerts des ersten Messsignals mit einem dritten Schwellwert, wobei

b) die Ausgabeeinrichtung das Fehlersignal bezüglich des ersten Messsignals nur dann ausgibt, wenn das Minimum der Quadratsumme kleiner als der erste Schwellwert, der Betrag des Minimalwerts des ersten Messsignals kleiner als der zweite Schwellwert und der Betrag des Maximalwerts des ersten Messsignals kleiner als der dritte Schwellwert ist.

Die oben im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren genannten Vorteile und Variationsmöglichkeiten gelten sinngemäß auch für die erfindungsgemäße Resolvervorrichtung. Dementsprechend können auch die Merkmale a) und b) der Resolvervorrichtung ergänzt oder ersetzt werden durch die Merkmale:

c) die Fehlerermittlungseinrichtung ausgebildet ist zum:
   - Bestimmen eines Minimums der Quadratsumme,
   - Bestimmen eines Betrags eines Minimalwerts des zweiten Messsignals,
   - Bestimmen eines Betrags eines Maximalwerts des zweiten Messsignals,
   - Vergleichen des Minimums der Quadratsumme mit einem vierten Schwellwert,

- Vergleichen des Betrags des Minimalwerts des zweiten Messsignals mit einem fünften Schwellwert und
- Vergleichen des Betrags des Maximalwerts des zweiten Messsignals mit einem sechsten Schwellwert, wobei

c) die Ausgabeeinrichtung das Fehlersignal bezüglich des zweiten Messsignals nur dann ausgibt, wenn das Minimum der Quadratsumme kleiner als der vierte Schwellwert, der Betrag des Minimalwerts des zweiten Messsignals kleiner als der fünfte Schwellwert und der Betrag des Maximalwerts des zweiten Messsignals kleiner als der sechste Schwellwert ist.

Dabei gilt natürlich für den Fall, dass die Merkmale a) bis d) kumulativ Anwendung finden, dass die Fehlerermittlungseinrichtung das Minimum der Quadratsumme natürlich nur einmal bestimmt.

Die erfindungsgemäße Resolvervorrichtung kann beispielsweise in einem Umrichtersystem eingesetzt werden, um beispielsweise einen Motor mit den Signalen des Resolvers steuern zu können.

Eine bevorzugte Anwendung des Umrichtersystems mit der Resolvervorrichtung ergibt sich für ein Kraftfahrzeug. Es können aber auch andere umrichterbetriebene elektrische Maschinen (z.B. Fertigungsmaschinen, Transportanlagen etc.) von dem Umrichtersystem mit Resolvervorrichtung profitieren.

Die vorliegende Erfindung wird anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert, in denen zeigen:

Fig. 1 einen Signalverlauf einer Quadratsumme von Resolversignalen mit und ohne Fehler; und

Fig. 2 ein Ablaufdiagramm eines erfindungsgemäßen Diagnosekonzepts.

Die nachfolgend näher geschilderten Ausführungsbeispiele stellen bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung dar. Dabei ist zu beachten, dass die einzelnen Merkmale nicht nur in den geschilderten Merkmalskombinationen, sondern auch in

Alleinstellung oder in anderen technisch sinnvollen Merkmalskombinationen realisiert werden können.

Das erfindungsgemäße Erkennen eines Fehlers bei einem Resolver beruht auf einem Ansatz, der eine Erweiterung eines bekannten Diagnosekonzepts mit Ermittlung einer Quadratsumme zweier Messsignale darstellt. Damit ist die Erkennung von Fehlern in der Rotorlageerfassung beim Einsatz eines Resolvers möglich.

Zur Erkennung von Fehlern werden die Resolverausgangssignale zunächst optional durch einen Hochpassfilter geführt und anschließend demoduliert. Nach der Demodulation wird über ein definiertes Zeitintervall der Maximalwert und Minimalwert der Hüllkurvensignale ermittelt, sowie der Minimalwert der Quadratsumme aus den Hüllkurvensignalen. Das definierte Zeitintervall sollte dabei größer als eine Periode eines jeweiligen Hüllkurvensignals sein. Liegen die ermittelten Werte betragsmäßig unterhalb jeweils definierter Schwellwerte, so wird ein Fehler erkannt.

Im Folgenden wird das ermittelte Diagnosekonzept an einem Beispiel genauer erläutert. Es werden die nachfolgenden Kurzbezeichnungen verwendet:

Größe	Beschreibung
TR	Resolver-Übersetzungsverhältnis
k	Amplitude der Resolver-Erregerspannung
U_{S1-S3}	Single-ended Resolver-Cosinus-Spannung (bezogen auf feste Bezugsspannung)
U_{S2-S4}	Single-ended Resolver-Sinus-Spannung (bezogen auf feste Bezugsspannung)
U_{Cos}	Hüllkurve der Resolver-Cosinus-Spannung
U_{Sin}	Hüllkurve der Resolver-Sinus-Spannung
ω_{Exc}	Kreisfrequenz der Resolver-Erregerspannung
ω_{Rot}	Kreisfrequenz des Elektromotors
SqSum	Quadratsumme
t_n	Startzeitpunkt der Minimal-/Maximalwertbestimmung

Δt_{diag}	Zeitintervall der Minimal-/Maximalwertbestimmung
thres	Diagnose-Schwellwert

Die Resolverausgangsspannungen (hier auch als Messrohsignale bezeichnet) lassen sich über folgende Gleichungen beschreiben:

$$U_{S1-S3} = TR * k * \sin(\omega_{Exc} * t) * \cos(\omega_{Rot} * t)$$
$$U_{S2-S4} = TR * k * \sin(\omega_{Exc} * t) * \sin(\omega_{Rot} * t)$$

Zur Bestimmung der Rotorlage ist die Information der Hüllkurven U_{Cos} und U_{Sin} der Resolverausgangssignale U_{S1-S3} und U_{S2-S4} notwendig. Die Bestimmung der Hüllkurven wird durch eine Demodulation erreicht, bei der die Erregerspannung eliminiert wird. Das Resultat der Demodulation lässt sich wie folgt beschreiben:

$$U_{Cos} = TR * k * \cos(\omega_{Rot} * t)$$
$$U_{Sin} = TR * k * \sin(\omega_{Rot} * t)$$

Externe Fehler, insbesondere Signalunterbrechungen und Kurzschlüsse der Resolverausgangssignale bewirken, dass die Resolverausgangssignale U_{S1-S3} oder U_{S2-S4} auf ein konstantes Spannungsniveau gezogen werden, das sich unter Umständen weiterhin im validen Wertebereich befindet.

Ein Hochpassfilter am Eingang der Signalverarbeitung bewirkt eine Eliminierung der Spannungsgleichanteile. Der Hochpass kann in Hardware oder Software realisiert werden. Im Fehlerfall wird somit das fehlerbehaftete Resolversignal auf ein 0V-Potential verschoben. Die anschließende Demodulation hat keinen weiteren Effekt auf die Signalform.

Die demodulierten Resolversignale, d.h. die Hüllkurvensignale U_{Cos} und U_{Sin} werden im Anschluss auf ihre Maximal-/Minimalwerte über ein definiertes Zeitintervall Δt_{diag} untersucht. Dieses Zeitintervall Δt_{diag} sollte, wie erwähnt, länger als die Periode eines Hüllkurvensignals sein.

$$U_{Cos,max} = \max[U_{Cos}(t_n \rightarrow t_n + \Delta t_{diag})]$$

$$U_{Cos,min} = min[U_{Cos}(t_n \rightarrow t_n + \Delta t_{diag})]$$
$$U_{Sin,max} = max[U_{Sin}(t_n \rightarrow t_n + \Delta t_{diag})]$$
$$U_{Sin,min} = min[U_{Sin}(t_n \rightarrow t_n + \Delta t_{diag})]$$

Die Betragswerte der Maximal- und Minimalwerte werden anschließend mit definierten Schwellwerten thres1, thres2, thres3 und thres4 verglichen.

$$|U_{Cos,max}| < thres1 \ \& \ |U_{Cos,min}| < thres2$$
$$|U_{Sin,max}| < thres3 \ \& \ |U_{Sin,min}| < thres4$$

Die Erfüllung dieser Bedingungen alleine ist noch nicht ausreichend, da diese Bedingungen im Bereich kleiner Drehzahlen ebenfalls erfüllt sein können. Um die Robustheit zu erhöhen, muss die Aktivierung der Diagnose in Abhängigkeit von der Drehzahl erfolgen. Dieser Schritt ist allerdings nicht möglich, wenn die Drehzahl aus den gleichen Resolversignalen erzeugt wird. Aus diesem Grund wird die Information der Quadratsumme hinzugezogen. Es erfolgt eine Minimalwertbestimmung der Quadratsumme $SqSum_{min}$ über das gleiche Zeitintervall Δt_{diag} wie oben.

$$SqSum_{min} = min[SqSum(t_n \rightarrow \Delta t_{diag})]$$

Sind alle drei folgenden Bedingungen erfüllt

$$|U_{Cos,max}| < thres1 \ \& \ |U_{Cos,min}| < thres2 \ \& \ SqSum_{min} < thres5$$

so ist dies ein Zeichen für einen Fehler im Cosinussignal. Sind alternativ oder zusätzlich alle drei folgenden Bedingungen erfüllt:

$$|U_{Sin,max}| < thres3 \ \& \ |U_{Sin,min}| < thres4 \ \& \ SqSum_{min} < thres6$$

so kann dies als Zeichen für einen Fehler im Sinussignal gewertet werden. Der entsprechende Fehler wird beispielsweise über eine Ausgabeeinrichtung der Resolvervorrichtung ausgegeben.

Anhand von Fig. 2 wird nun das beispielhafte Verfahren in einem Blockschaltdiagramm wiedergegeben. Die Messrohsignale bzw. die Resolver-Cosinus-Spannung U_{S1-S3} und die Resolver-Sinus-Spannung U_{S2-S4} wird in Schritt S1 einer Hochpassfilterung HP unterzogen. Die resultierenden Signale U_{S2-S4}^{*} und U_{S1-S3}^{*} werden in Schritt S2 demoduliert (DM). Aus diesem Schritt S2 resultieren das Hüllkurvensignal der Resolver-Cosinus-Spannung U_{Cos} und die Hüllkurve der Resolver-Sinus-Spannung U_{Sin}.

Im Schritt S3 wird die Quadratsumme der beiden Signale U_{Sin} und U_{Cos} berechnet. Von dieser Quadratsumme wird in Schritt S4 das Minimum ermittelt.

In Schritt S5 wird der Betrag des Minimums des Hüllkurvensignals U_{Sin} und der Betrag des Maximums des Hüllkurvensignals U_{Sin} ermittelt. Anschließend wird in Schritt S6 überprüft, ob der Betrag des Minimums des Mess- bzw. Hüllkurvensignals U_{Sin} kleiner als ein Schwellwert thres4, der Betrag des Maximalwerts des Messsignals bzw. Hüllkurvensignals U_{Sin} kleiner als der Schwellwert thres3 und das Minimum der Quadratsumme aus Schritt S4 kleiner als der Schwellwert thres6 ist. Sind alle drei Bedingungen erfüllt, wird ein Fehlersignal F_S erzeugt, das auf einen Fehler im Sinussignal hinweist.

In einem Schritt S7 wird aus dem Hüllkurvensignal U_{Cos} der Betrag des Minimums des weiteren Messsignals bzw. Hüllkurvensignals U_{Cos} und der Betrag des Maximums dieses Signals ermittelt. In Schritt S8 wird überprüft, ob der Betrag des Minimums des Hüllkurvensignals U_{Cos} kleiner als der Schwellwert thres2, der Betrag des Maximums des Hüllkurvensignals U_{Cos} kleiner als der Schwellwert thres1 und das Minimum der Quadratsumme aus Schritt S4 kleiner als der Schwellwert thres5 ist. Sind alle drei Bedingungen erfüllt, so wird das Fehlersignal F_C erzeugt, was auf einen Fehler im Cosinussignal hindeutet.

Auf diese Weise können zuverlässig insbesondere Fehler bei Signalunterbrechungen und Kurzschlüssen erkannt werden. Die

Robustheit des Diagnoseverfahrens wurde nämlich dadurch erhöht, dass die Diagnose in Abhängigkeit von der Drehzahl erfolgt.

Das beschriebene Verfahren kann in Umrichterprojekten mit Resolver Anwendung finden. Insbesondere kann dieses Verfahren, wie erwähnt, in Kraftfahrzeugen realisiert werden.

Bezugszeichenliste

SqSum	Quadratsumme
F_s, F_c	Fehlersignal
U_{Sin}	erstes Messsignal
U_{Cos}	zweites Messignal
thres1	sechster Schwellwert
thres2	fünfter Schwellwert
thres3	dritter Schwellwert
thres4	zweiter Schwellwert
thres5	vierter Schwellwert
thres6	erster Schwellwert
DM	Demodulation
HP	Hochpassfilterung

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erkennen eines Fehlers bei einem Resolver durch
a) Berechnen einer Quadratsumme (SqSum) eines ersten Messsignals (U_{Sin}) und eines zweiten Messsignals (U_{Cos}) des Resolvers und
b) Ausgeben eines Fehlersignals (F_s, F_c),
g e k e n n z e i c h n e t d u r c h
c) Bestimmen eines Minimums der Quadratsumme (SqSum),
d) Bestimmen eines Betrags eines Minimalwerts des ersten Messsignals (U_{Sin}),
e) Bestimmen eines Betrags eines Maximalwerts des ersten Messsignals (U_{Sin}),
f) Vergleichen des Minimums der Quadratsumme (SqSum) mit einem ersten Schwellwert (thres6),
g) Vergleichen des Betrags des Minimalwerts des ersten Messsignals (U_{Sin}) mit einem zweiten Schwellwert (thres4) und
h) Vergleichen des Betrags des Maximalwerts des ersten Messsignals (U_{Sin}) mit einem dritten Schwellwert (thres3), wobei
i) das Fehlersignal (F_s, F_c) bezüglich des ersten Messsignals (U_{Sin}) nur dann ausgegeben wird, wenn das Minimum der Quadratsumme (SqSum) kleiner als der erste Schwellwert (thres6), der Betrag des Minimalwerts des ersten Messsignals (U_{Sin}) kleiner als der zweite Schwellwert (thres4) und der Betrag des Maximalwerts des ersten Messsignals (U_{Sin}) kleiner als der dritte Schwellwert (thres3) ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Schritte d) bis i) ersetzt oder ergänzt werden durch die Schritte:
j) Bestimmen eines Betrags eines Minimalwerts des zweiten Messsignals (U_{Cos}),
k) Bestimmen eines Betrags eines Maximalwerts des zweiten Messsignals (U_{Cos}),
l) Vergleichen des Minimums der Quadratsumme (SqSum) mit einem vierten Schwellwert (thres5),
m) Vergleichen des Betrags des Minimalwerts des zweiten Messsignals (U_{Cos}) mit einem fünften Schwellwert (thres2) und
n) Vergleichen des Betrags des Maximalwerts des zweiten Messsignals (U_{Cos}) mit einem sechsten Schwellwert (thres1), wobei

o) das Fehlersignal bezüglich des zweiten Messsignals (U_{Cos}) nur dann ausgegeben wird, wenn das Minimum der Quadratsumme (SqSum) kleiner als der vierte Schwellwert (thres5), der Betrag des Minimalwerts des zweiten Messsignals (U_{Cos}) kleiner als der fünfte Schwellwert (thres2) und der Betrag des Maximalwerts des zweiten Messsignals (U_{Cos}) kleiner als der sechste Schwellwert (thres1) ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das erste Messsignal (U_{Sin}) ein Sinussignal und das zweite Messsignal (U_{Cos}) ein Cosinussignal des Resolvers ist, oder umgekehrt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei vor dem Berechnen der Quadratsumme (SqSum) das erste Messsignal (U_{Sin}) und das zweite Messsignal (U_{Cos}) jeweils durch Demodulation (DM) gewonnen werden.

5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei zum Gewinnen des ersten Messsignals (U_{Sin}) und des zweiten Messsignals (U_{Cos}) eine Hochpassfilterung (HP) durchgeführt wird.

6. Resolvervorrichtung mit
- einem Resolver und
- einer Fehlerermittlungseinrichtung zum Berechnen einer Quadratsumme (SqSum) eines ersten Messsignals (U_{Sin}) und eines zweiten Messsignals (U_{Cos}) des Resolvers und
- einer Ausgabeeinrichtung zum Ausgeben eines Fehlersignals (F_s, F_c),

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s

d) die Fehlerermittlungseinrichtung ausgebildet ist zum:
  - o Bestimmen eines Minimums der Quadratsumme (SqSum),
  - o Bestimmen eines Betrags eines Minimalwerts des ersten Messsignals (U_{Sin}),
  - o Bestimmen eines Betrags eines Maximalwerts des ersten Messsignals (U_{Sin}),
  - o Vergleichen des Minimums der Quadratsumme (SqSum) mit einem ersten Schwellwert (thres6),

- Vergleichen des Betrags des Minimalwerts des ersten Messsignals (U_{Sin}) mit einem zweiten Schwellwert (thres4) und
- Vergleichen des Betrags des Maximalwerts des ersten Messsignals (U_{Sin}) mit einem dritten Schwellwert (thres3), wobei

e) die Ausgabeeinrichtung das Fehlersignal bezüglich des ersten Messsignals (U_{Sin}) nur dann ausgibt, wenn das Minimum der Quadratsumme (SqSum) kleiner als der erste Schwellwert (thres6), der Betrag des Minimalwerts des ersten Messsignals (U_{Sin}) kleiner als der zweite Schwellwert (thres4) und der Betrag des Maximalwerts des ersten Messsignals (U_{Sin}) kleiner als der dritte Schwellwert (thres3) ist.

7. Resolvervorrichtung nach Anspruch 6, wobei die Merkmale a) und b) ergänzt oder ersetzt werden durch die Merkmale:

f) die Fehlerermittlungseinrichtung ausgebildet ist zum:
- Bestimmen eines Minimums der Quadratsumme (SqSum),
- Bestimmen eines Betrags eines Minimalwerts des zweiten Messsignals (U_{Cos}),
- Bestimmen eines Betrags eines Maximalwerts des zweiten Messsignals (U_{Cos}),
- Vergleichen des Minimums der Quadratsumme (SqSum) mit einem vierten Schwellwert (thres5)Vergleichen des Betrags des Minimalwerts des zweiten Messsignals (U_{Cos}) mit einem fünften Schwellwert (thres2) und
- Vergleichen des Betrags des Maximalwerts des zweiten Messsignals (U_{Cos}) mit einem sechsten Schwellwert (thres1), wobei

g) die Ausgabeeinrichtung das Fehlersignal (F_s, F_c) bezüglich des zweiten Messsignals (U_{Cos}) nur dann ausgibt, wenn das Minimum der Quadratsumme (SqSum) kleiner als der vierte Schwellwert (thres3), der Betrag des Minimalwerts des zweiten Messsignals (U_{Cos}) kleiner als der fünfte Schwellwert (thres2) und der Betrag des Maximalwerts des zweiten Messsignals (U_{Cos}) kleiner als der sechste Schwellwert (thres1) ist.

8. Umrichtersystem mit einer Resolvervorrichtung nach Anspruch 6 oder 7.

9. Kraftfahrzeug mit einem Umrichtersystem nach Anspruch 8.

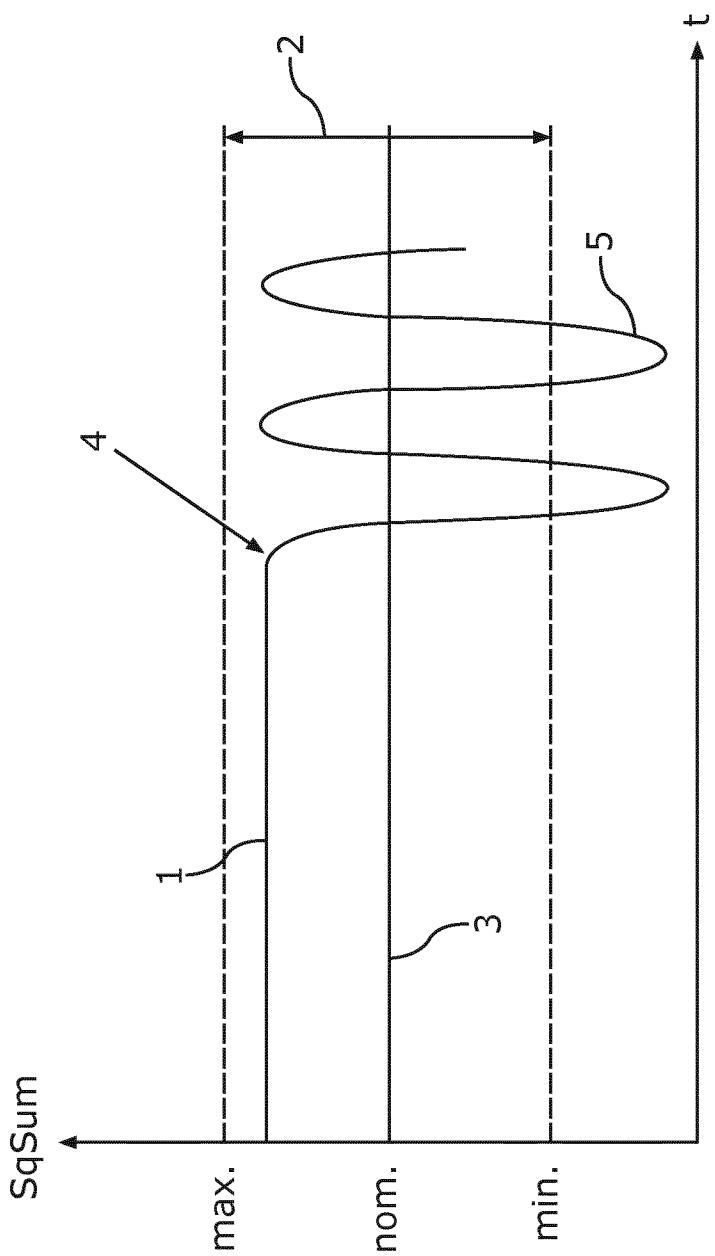


Fig.1

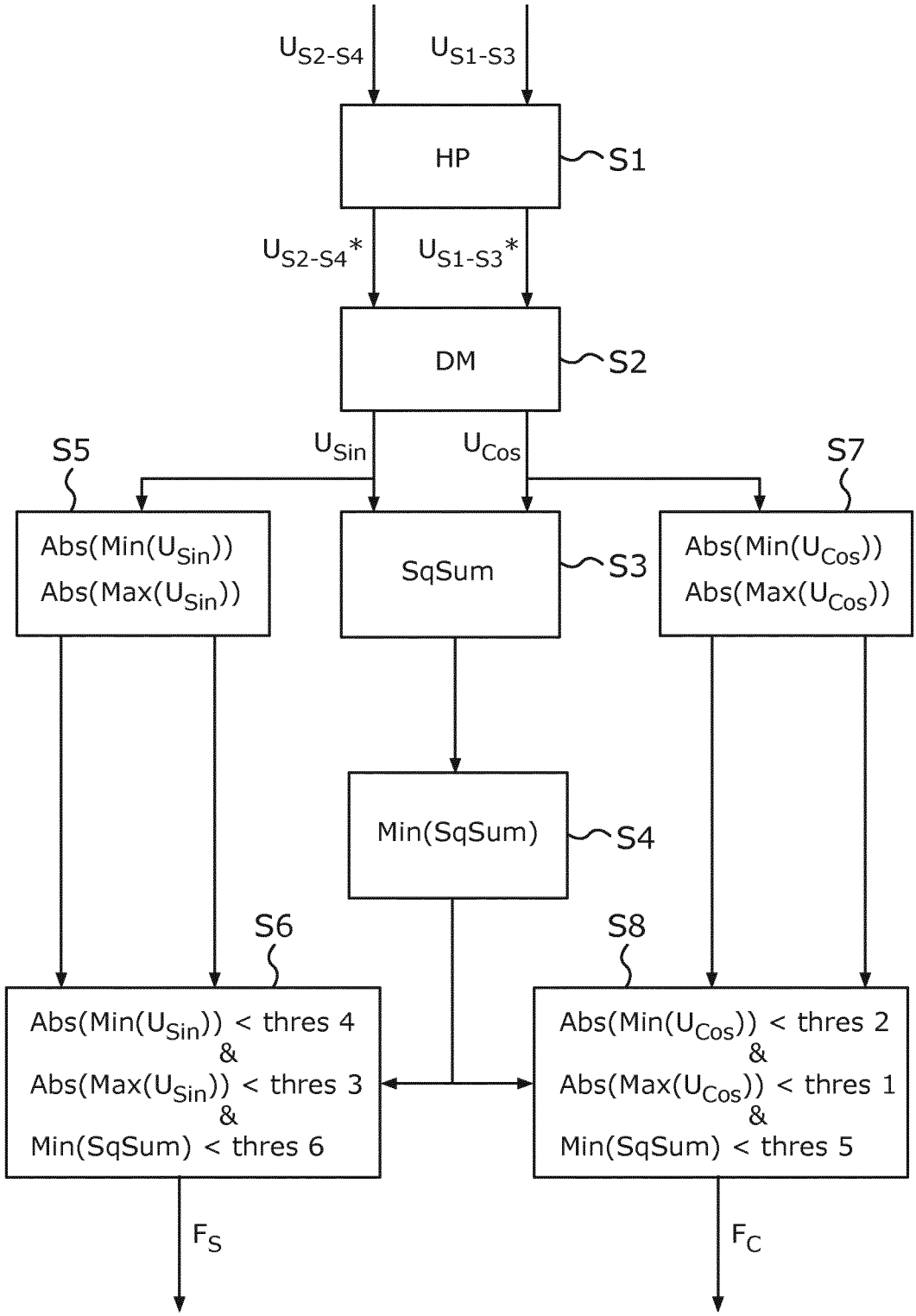

U_{S2-S4}
U_{S1-S3}
HP
S1
U_{S2-S4}*
U_{S1-S3}*
DM
S2
S5
U_{Sin}
U_{Cos}
S7
Abs(Min(U_{Sin}))
Abs(Max(U_{Sin}))
SqSum
S3
Abs(Min(U_{Cos}))
Abs(Max(U_{Cos}))
Min(SqSum)
S4
S6
S8
Abs(Min(U_{Sin})) < thres 4
&
Abs(Max(U_{Sin})) < thres 3
&
Min(SqSum) < thres 6
Abs(Min(U_{Cos})) < thres 2
&
Abs(Max(U_{Cos})) < thres 1
&
Min(SqSum) < thres 5
F_S
F_C

Fig.2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/072931

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01D5/244 G01D5/22
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)
G01D

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2000 039336 A (TOYOTA MOTOR CORP) 8 February 2000 (2000-02-08) paragraphs [0017] - [0023], [0028] - [0035], [0047] - [0058]	1-9
A	JP 2009 139267 A (JTEKT CORP) 25 June 2009 (2009-06-25) paragraphs [0006] - [0014], [0026] - [0061]; figure 6	1-9
A	US 2009/206828 A1 (YAMAURA TAMOTSU [JP] ET AL) 20 August 2009 (2009-08-20) paragraphs [0048] - [0059], [0067] - [0122]; claims 3-6	1-9

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] 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	Date of mailing of the international search report
28 November 2017	08/12/2017

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Kurze, Volker

1

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/072931

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2009 068887 A (NSK LTD) 2 April 2009 (2009-04-02) paragraphs [0005], [0006], [0009] - [0014], [0018] - [0037]; claims 1,2	1-9
A	US 2011/295530 A1 (OOWADA TAKAHUMI [JP] ET AL) 1 December 2011 (2011-12-01) paragraphs [0052] - [0058], [0082], [0110] - [0143], [0181] - [0193]	1-9
A	EP 3 029 424 A1 (JTEKT CORP [JP]) 8 June 2016 (2016-06-08) paragraphs [0010] - [0018], [0103] - [0147], [0157] - [0163]	1-9

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2017/072931

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 2000039336 A	08-02-2000	JP 3460587 B2	27-10-2003
		JP 2000039336 A	08-02-2000
JP 2009139267 A	25-06-2009	JP 5045407 B2	10-10-2012
		JP 2009139267 A	25-06-2009
US 2009206828 A1	20-08-2009	JP 5028294 B2	19-09-2012
		JP 2009192342 A	27-08-2009
		US 2009206828 A1	20-08-2009
JP 2009068887 A	02-04-2009	JP 4930299 B2	16-05-2012
		JP 2009068887 A	02-04-2009
US 2011295530 A1	01-12-2011	JP 5569465 B2	13-08-2014
		JP 2012108092 A	07-06-2012
		US 2011295530 A1	01-12-2011
EP 3029424 A1	08-06-2016	CN 105674873 A	15-06-2016
		EP 3029424 A1	08-06-2016
		JP 2016109554 A	20-06-2016
		US 2016161289 A1	09-06-2016

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2017/072931

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01D5/244 G01D5/22
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01D

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

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	JP 2000 039336 A (TOYOTA MOTOR CORP) 8. Februar 2000 (2000-02-08) Absätze [0017] - [0023], [0028] - [0035], [0047] - [0058]	1-9
A	JP 2009 139267 A (JTEKT CORP) 25. Juni 2009 (2009-06-25) Absätze [0006] - [0014], [0026] - [0061]; Abbildung 6	1-9
A	US 2009/206828 A1 (YAMAURA TAMOTSU [JP] ET AL) 20. August 2009 (2009-08-20) Absätze [0048] - [0059], [0067] - [0122]; Ansprüche 3-6	1-9

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] 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	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
28. November 2017	08/12/2017

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Kurze, Volker

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2017/072931

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	JP 2009 068887 A (NSK LTD) 2. April 2009 (2009-04-02) Absätze [0005], [0006], [0009] - [0014], [0018] - [0037]; Ansprüche 1,2 -----	1-9
A	US 2011/295530 A1 (OOWADA TAKAHUMI [JP] ET AL) 1. Dezember 2011 (2011-12-01) Absätze [0052] - [0058], [0082], [0110] - [0143], [0181] - [0193] -----	1-9
A	EP 3 029 424 A1 (JTEKT CORP [JP]) 8. Juni 2016 (2016-06-08) Absätze [0010] - [0018], [0103] - [0147], [0157] - [0163] -----	1-9

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2017/072931

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 2000039336 A	08-02-2000	JP 3460587 B2	27-10-2003
		JP 2000039336 A	08-02-2000
JP 2009139267 A	25-06-2009	JP 5045407 B2	10-10-2012
		JP 2009139267 A	25-06-2009
US 2009206828 A1	20-08-2009	JP 5028294 B2	19-09-2012
		JP 2009192342 A	27-08-2009
		US 2009206828 A1	20-08-2009
JP 2009068887 A	02-04-2009	JP 4930299 B2	16-05-2012
		JP 2009068887 A	02-04-2009
US 2011295530 A1	01-12-2011	JP 5569465 B2	13-08-2014
		JP 2012108092 A	07-06-2012
		US 2011295530 A1	01-12-2011
EP 3029424 A1	08-06-2016	CN 105674873 A	15-06-2016
		EP 3029424 A1	08-06-2016
		JP 2016109554 A	20-06-2016
		US 2016161289 A1	09-06-2016