

(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
13. Dezember 2012 (13.12.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/167819 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G05B 19/4065 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/059415

(22) Internationales Anmeldedatum:
7. Juni 2011 (07.06.2011)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
[DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BELLM, Hubert**
[DE/DE]; Nibelungenring 6, 76297 Stutensee (DE).
LENZ, Henning [DE/DE]; Huebschstraße 11, 76135
Karlsruhe (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS
AKTIENGESELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 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, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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.

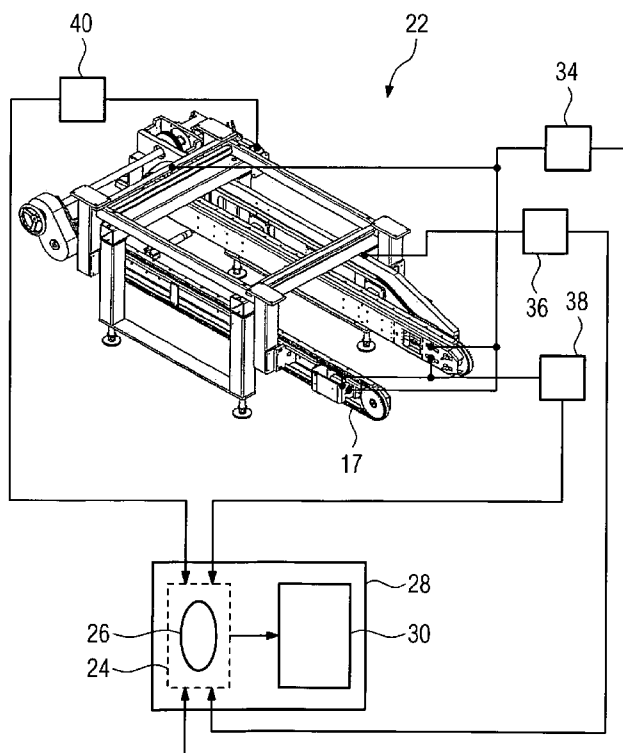
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR ASCERTAINING A REMAINING SERVICE LIFE OF A MACHINE COMPONENT, AND
COMPUTER PROGRAM FOR CARRYING OUT THE METHOD

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR ERMITTLUNG EINER RESTLEBENSDAUER EINER MASCHINENKOMPONENTE
UND COMPUTERPROGRAMM ZUR DURCHFÜHRUNG DES VERFAHRENS

FIG 2



(57) Abstract: The invention relates to a method (10) for
ascertaining a remaining service life (12) of a machine
component (17). A reference characteristic curve (48, 50, 56)
of at least one characteristic from at least one wear test of a
reference component that matches the machine component
(17) is retrieved from a database (14). The reference
characteristic curve (48, 50, 56) is approximated using a
mathematical function. At least one current characteristic (20)
is retrieved from a sensor (34, 36, 38, 40) for the machine
component (17). A time value that corresponds to the current
characteristic (20) is ascertained from the approximated
characteristic curve (52, 54, 58), and the remaining service
life (12) is the difference between an expected total service
life of the machine component (17) and the ascertained time
value.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



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).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

Die Erfindung betrifft ein Verfahren (10) zum Ermitteln einer Restlebensdauer (12) einer Maschinenkomponente (17), wobei ein Referenzkennwertverlauf (48, 50, 56) mindestens eines Kennwerts aus mindestens einem Verschleißversuch einer zu der Maschinenkomponente (17) passenden Referenzkomponente aus einer Datenbasis (14) abgerufen wird, wobei eine Approximation des Referenzkennwertverlaufs (48, 50, 56) durch eine mathematische Funktion durchgeführt wird, wobei für die Maschinenkomponente (17) mindestens ein aktueller Kennwert (20) von einem Sensor (34, 36, 38, 40) abgerufen wird, wobei aus dem approximierten Kennwertverlauf (52, 54, 58) ein dem aktuellen Kennwert (20) zugehöriger Zeitwert ermittelt wird und wobei sich die Restlebensdauer (12) als Differenz aus einer erwarteten Gesamtlebensdauer der Maschinenkomponente (17) und dem ermittelten Zeitwert ergibt.

Beschreibung

Verfahren zur Ermittlung einer Restlebensdauer einer Maschinenkomponente und Computerprogramm zur Durchführung des Verfahrens

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung einer Restlebensdauer einer Maschinenkomponente gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Sie bezieht sich weiter auf ein Computerprogramm zur Durchführung des Verfahrens.

An Maschinenkomponenten, z.B. Rollenketten, werden, insbesondere im Anwendungsfeld der Verpackungsmaschinen, hohe Anforderungen gestellt. Dies sind zum einen die sehr hohen Taktraten der Maschinen, die bei mehreren hundert Takten pro Minute liegen können und somit eine hohe Komponentengeschwindigkeit erfordern. Zum anderen bestehen durch Hygiene- und Qualitätsvorgaben teilweise Einschränkungen bei der Wartung und Schmierung, die in erhöhten Laufgeräuschen und Verschleiß resultieren. Die Komponentenlebensdauer kann hierdurch deutlich unter Angabe des Herstellers liegen. Da der Austausch einer Komponente eine Produktionsunterbrechung von mehreren Stunden verursacht, besteht seitens der Maschinenhersteller und Anwendern der Maschinen hohes Interesse den optimalen Zeitpunkt zum Austausch zu prognostizieren.

Für eine Schätzung einer Restlebensdauer der Maschinenkomponenten werden im Allgemeinen aus dem Antrieb erfasste oder von externen Sensoren gelieferte Daten herangezogen.

Beispielsweise ist in "Pierburg, L.; Nienhaus, K.: Bauteilüberwachung und Restlebensdauerbestimmung mittels Mikrosystemtechnik am Beispiel von Förderketten, WISSENSPORTAL baumaschine.de 4(2005)" ein mit mikromechanischen Sensoren ausgestattetes Kettenglied offenbart, mit dessen Hilfe laufend online, d.h. aus aktuellen Sensordaten, ein Lastintegral einer Förderkette ermittelt wird. Aus diesem wird dann auf der Grundlage der sogenannten Wöhler-Kennlinie eine Restlebensdauerschätzung

abgeleitet. Ähnlich wird in der DE60210747T2 die Ausrüstung von Hubketten eines Gabelstaplers mit speziellen, mit Sensoren versehenen Kettengliedern beschrieben. Aus den Daten dieser Sensoren wird dann wie zuvor über ein Lastintegral eine Restlebensdauerschätzung abgeleitet. Die US200880004839A1 beschreibt ein Gerät, das über zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen auf Basis einer Datenbank die Restlebensdauer von Konstruktionselementen ermittelt und dem Nutzer über Sprachausgabe mitteilen kann. Das in der US20030158803A1 beschriebene Verfahren zur Restlebensdauerschätzung bestimmter, dort als Assets bezeichneter Komponenten beruht auf historischen, mittels Sensoren ermittelten Daten, aus denen ein Abnutzungsgrad errechnet wird. Dieser dient wiederum zur Ableitung einer Restlebensdauer der Assets.

Die Erfindung besteht darin, ein weiteres Verfahren anzugeben, dass zum Ermitteln der Restlebensdauer von Maschinenkomponenten eingesetzt werden kann.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Darin ist ein Verfahren zum Ermitteln einer Restlebensdauer einer Maschinenkomponente angegeben, wobei ein Referenzkennwertverlauf mindestens eines Kennwerts aus mindestens einem Verschleißversuch einer zu der Maschinenkomponente passenden Referenzkomponente aus einer Datenbasis abgerufen wird, wobei eine Approximation des Referenzkennwertverlaufs durch eine mathematische Funktion durchgeführt wird, wobei für die Maschinenkomponente mindestens ein aktueller Kennwert von einem Sensor abgerufen wird, wobei aus dem approximierten Kennwertverlauf ein dem aktuellen Kennwert zugehöriger Zeitwert ermittelt wird und wobei sich die Restlebensdauer als Differenz aus einer erwarteten Gesamtlebensdauer der Maschinenkomponente und dem ermittelten Zeitwert ergibt.

Der Vorteil der Erfindung besteht darin, dass auf Basis von Daten einer Referenzkomponente, die bereits verschlissen ist, d.h. von historischen Daten, und Echtzeitdaten die Restlebensdauer einer Maschinenkomponente besser vorhergesagt werden

kann, so dass ein Austausch der Maschinenkomponente mit der Produktionsplanung abgestimmt werden kann.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der
5 Unteransprüche. Dabei verwendete Rückbeziehungen weisen auf
die weitere Ausbildung des Gegenstandes des Hauptanspruches
durch die Merkmale des jeweiligen Unteranspruches hin; sie
sind nicht als ein Verzicht auf die Erzielung eines selbstän-
digen, gegenständlichen Schutzes für die Merkmalskombinationen
10 der rückbezogenen Unteransprüche zu verstehen. Des Weiteren
ist im Hinblick auf eine Auslegung der Ansprüche bei einer nä-
heren Konkretisierung eines Merkmals in einem nachgeordneten
Anspruch davon auszugehen, dass eine derartige Beschränkung in
den jeweils vorangehenden Ansprüchen nicht vorhanden ist.

15 Wenn aus mindestens zwei Verschleißversuchen historische Kenn-
werte aus der Datenbasis abgerufen werden, wird bei unter-
schiedlichen Gesamtlebensdauern der jeweiligen Referenzkompo-
nenten die Zeitachse der Kennwertverläufe vor der Approximati-
on mit einem Maß für eine Belastung, der die jeweilige Refer-
20 enzkomponente während ihres Betriebs ausgesetzt war, ska-
liert. Auf diese Weise können unterschiedliche Belastungen der
Maschinenkomponenten aus den Verschleißversuchen, wie z.B. ei-
ne Taktrate oder bei Ketten ein Druck am Spannzylinder, be-
25 rücksichtigt werden.

Bevorzugt wird der oder jeder Kennwertverlauf mit einem quad-
ratischen Polynom approximiert. Dadurch können relativ stark
streuende Kennwerte geglättet werden, so dass ein Trend des
30 Kennwertverlaufs besser erkannt werden kann.

Wenn Daten aus mindestens zwei Verschleißversuchen abgerufen
werden, können die jeweiligen Koeffizienten der quadratischen
Polynome bevorzugt für jeden Kennwert gemittelt werden. Die
35 Kennwertverläufe können aufgrund unterschiedlicher Betriebsbe-
dingungen möglicherweise sehr unterschiedlich verlaufen, so
dass durch die Mittelung der Koeffizienten stärkere Abweichun-
gen geglättet werden können. Bevorzugt können die Kennwerte

vor der Mittelung zudem nach Relevanz gewichtet werden. Dabei können beispielsweise Kennwerte, deren Verläufe keinen deutlichen Trend erkennen lassen, niedriger gewichtet werden.

5 Bevorzugt wird eine für mindestens einen ersten und einen zweiten aktuellen Kennwert ermittelte Restlebensdauer gemittelt. Bei verschiedenen betrachteten Kennwerten der Referenzkomponente, z.B. einem ersten aus einem Drehmoment und einem zweiten aus einem Schwingungssignal ermittelten Kennwert, er-
10 geben sich unterschiedliche (approximierte) Kennwertverläufe und daraus auch unterschiedliche Restlebensdauern für die Maschinenkomponente, wenn sie für jeden Kennwert separat ermittelt wird. Durch Bildung eines Mittelwerts dieser Restlebensdauern erhöht sich die Zuverlässigkeit der Restlebensdauerer-
15 mittlung.

Bei einer Verfügbarkeit von mehreren verschiedenen Referenzkennwertverläufen, also bei einer entsprechenden sensorischen Ausstattung einer Maschine, die die Maschinenkomponente um-
20 fasst, ist eine Auswahl der zum Ermitteln der Restlebensdauer verwendbaren Kennwerte möglich. Speziell kommen dafür solche Kennwerte in Betracht, die bei der Mehrzahl der Verschleißversuche einen Trend im Kennwertverlauf oder im analytisch angepassten Kennwertverlauf erkennen lassen. Auf diese Weise kön-
25 nen Kennwerte, die empfindlicher auf bestimmte Betriebsbedingungen reagieren und somit zu einem verfälschten Ergebnis des Verfahrens führen könnten, bei den entsprechenden Verschleißversuchen aus dem Verfahren genommen werden.

30 Bevorzugt kann ein Referenzkennwertverlauf mit Kennwerten für ein Drehmoment als alleiniger Referenzkennwertverlauf verwendet werden. Dies hat den Vorteil, dass unter entsprechend günstigen Betriebsbedingungen der Maschinenkomponente auf aufwendigere Auswertungen einer Vielzahl von Kennwerten verzich-
35 tet werden kann.

Das beschriebene Verfahren mit seinen Ausgestaltungen ist bevorzugt in Software implementiert. Entsprechend betrifft die

Erfindung auch ein Computerprogramm mit durch einen Computer ausführbaren Programmcodewebweisungen zur Implementierung des Verfahrens wie hier und nachfolgend beschrieben, wenn das Computerprogramm auf einem Computer, also z.B. einem Automatisierungsgerät mit einer Verarbeitungseinheit nach Art eines Prozessors oder dergleichen, ausgeführt wird. Ein Automatisierungsgerät, insbesondere ein Industrieautomatisierungsgerät, auf dem ein derartiges Computerprogramm geladen ist, ist ein Beispiel für ein Computersystem, auf welches sich die Erfindung ebenfalls bezieht. Anstelle des Automatisierungsgeräts kommen auch Standardcomputer, wie sie heute bei der Büroautomatisierung üblich sind, in Betracht. Das Computerprogramm zur Implementierung des Verfahrens wird üblicherweise auf oder in einem Computerprogrammprodukt, insbesondere Speichermedium, also z.B. auf einem magnetischen oder optischen Datenträger oder in einem Halbleiterspeicher, also z. B. flüchtigen oder nicht flüchtigen Speicherbausteinen, vorgehalten, so dass die Erfindung insoweit auch ein Computerprogrammprodukt mit einem durch einen Computer ausführbaren Computerprogramm zur Implementierung des Verfahrens betrifft.

Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Einander entsprechende Gegenstände oder Elemente sind in allen Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

Das oder jedes Ausführungsbeispiel ist nicht als Einschränkung der Erfindung zu verstehen. Vielmehr sind im Rahmen der vorliegenden Offenbarung zahlreiche Abänderungen und Modifikationen möglich, insbesondere solche Varianten und Kombinationen, die zum Beispiel durch Kombination oder Abwandlung von einzelnen in Verbindung mit den im allgemeinen oder speziellen Beschreibungsteil beschriebenen sowie in den Ansprüchen und/oder der Zeichnung enthaltenen Merkmalen bzw. Elementen oder Verfahrensschritten für den Fachmann im Hinblick auf die Lösung der Aufgabe entnehmbar sind und durch kombinierbare Merkmale zu einem neuen Gegenstand oder zu neuen Verfahrensschritten bzw. Verfahrensschrittfolgen führen.

Es zeigen

FIG 1 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen
Verfahrens zum Ermitteln einer Restlebensdauer einer
Maschinenkomponente;

FIG 2 einen Kettenprüfstand und einen daran angeschlossenen
Computer zur Ausführung eines erfindungsgemäßen Ver-
fahrens;

FIG 3 eine schematische Darstellung eines ersten Auswerteal-
gorithmus des Verfahrens;

FIG 4 zwei Schwingungssignalverläufe einer Maschinenkompo-
nente aus einem Verschleißversuch sowie eine analyti-
sche Anpassung der Schwingungssignalverläufe;

FIG 5 einen Drehmomentverlauf einer Maschinenkomponente aus
einem Verschleißverlauf sowie eine analytische Anpas-
sung des Drehmomentverlaufs;

FIG 6 eine graphische Darstellung der ermittelten Restle-
bensdauern für fünf verschiedene Signale;

FIG 7 eine schematische Darstellung eines zweiten Algorith-
mus des Verfahrens; und

FIG 8 eine graphische Darstellung der ermittelten Restle-
bensdauer, gemittelt aus fünf Restlebensdauern gemäß
FIG 6 sowie allein auf Basis des Drehmoments als Kenn-
wert ermittelt.

FIG 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Verfahrens
zum Ermitteln einer Restlebensdauer einer Maschinenkompo-
nente gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung. Bei dem
Verfahren werden aus einer Datenbasis historische Daten
aus mindestens einem Verschleißversuch mit einer zu der Ma-
schinenkomponente passenden Referenzkomponente in einen ersten

Auswertealgorithmus 16 geladen. Die Datenbasis 14 umfasst bevorzugt Daten aus Verschleißversuchen mit mehreren Referenzkomponenten. Im hier erläuterten Ausführungsbeispiel handelt es sich bei der betrachteten Maschinenkomponente um eine Kette 17, z.B. eine Rollenkette. Ketten werden in Verpackungsmaschinen wie z.B. Hygieneartikel-Verpackungsmaschinen vielfach als Transportelemente eingebaut, da diese mit ihrer raumsparenden Bauweise, einfachen Montage sowie geringen Wartungskosten eine robuste und wirtschaftliche Maschinenkomponente darstellen.

Zudem verfügen diese über eine exakte Positionierbarkeit und hohe Steifigkeit, was sich z.B. zugunsten eines Parallellaufs auswirkt. Trotz dieser prinzipiell guten Eigenschaften sind Ketten in Verpackungsmaschinen einem hohen Verschleiß ausgesetzt, so dass eine Diagnose und Abschätzung der Restlebensdauer sinnvoll ist, um unerwartete Ausfälle zu vermeiden. Kettentriebe übernehmen heutzutage in Produktionsmaschinen vielfältige Aufgaben. Dabei wird die Wahl der verwendeten Kette dem jeweiligen Anwendungsbereich angepasst, so dass sich verschiedene Bauformen von Ketten entwickelt haben. Der meistgenutzte Kettentyp ist dabei die Rollenkette. Die Vorteile von Kettentrieben liegen u.a. in der schlupffreien Leistungsübertragung, der konstanten Übersetzung und der Unempfindlichkeit gegenüber äußeren Einflüssen wie Temperatur, Feuchtigkeit und Schmutz. Im Gegensatz zu anderen Getriebearten ist es mit Kettengetrieben möglich, größere Achsabstände einfach zu überbrücken. Nachteile von Ketten sind insbesondere der Polygoneffekt, der eine schwankende Kettengeschwindigkeit verursacht, sowie die Schwingungsanfälligkeit und der Wartungsaufwand.

Im hier erläuterten Ausführungsbeispiel wird davon ausgegangen, dass für drei verschiedene Ketten als Referenzkomponenten historische Daten aus Verschleißversuchen vorliegen. Bei diesen Ketten wurde ein Endverschleißzustand erreicht, d.h. die Ketten können nicht mehr betrieben werden. Die Daten dieser drei Referenzketten werden in dem Verfahren 10 zum Ermitteln der Restlebensdauer einer Kette in dem ersten Auswertealgorithmus 16 für jede Maschine einmal offline ausgewertet. Das Verfahren 10 umfasst weiterhin einen zweiten Auswertealgorithmus

mus 18, in den die Daten aus dem ersten Auswertealgorithmus 16 und aus aktuellen Sensordaten ermittelte Kennwerte 20 online einfließen. Der erste Auswertealgorithmus 16 wird in Bezug auf FIG 3, der zweite Auswertealgorithmus 18 in Bezug auf FIG 7 detaillierter beschrieben.

In FIG 2 ist ein bekannter Kettenprüfstand 22 gezeigt, von welchem Daten an ein Computerprogramm 24 übermittelt werden, welches Programmcodeanweisungen 26 zur Implementierung des Verfahrens 10 umfasst. Das Computerprogramm 24 wird auf einem Computer, also z.B. einem Automatisierungsgerät 28 mit einer Verarbeitungseinheit 30, ausgeführt.

Der erste Auswertealgorithmus 16 gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in FIG 3 gezeigt. Darin werden in einem ersten Schritt 32 für jedes Signal und jede der drei Referenzketten Kennwerte berechnet. Die Signale stammen von verschiedenen Sensoren eines entsprechenden Kettenprüfstands, an dem die Referenzketten geprüft wurden, z.B. dem Kettenprüfstand 22 gemäß FIG 2. Der Kettenprüfstand 22 umfasst Schwingungssensoren 34, wobei drei Sensoren horizontale und drei weitere Sensoren vertikale Schwingungen messen können. Dabei werden jeweils horizontale und vertikale Schwingungssignale in einem hinteren Bereich des Kettenprüfstands 22 und an zwei Positionen (links und rechts) in einem vorderen Bereich des Kettenprüfstands 22 gemessen. Der Kettenprüfstand 22 umfasst weiterhin einen Drucksensor 36, Positionstransmitter 38, welche eine Position der Spannzylinder übertragen, sowie Mittel zum Übertragen eines Drehmoments und eines Taktsignals. Als Mittel zum Übertragen des Drehmoments und des Taktsignals eignet sich z.B. eine Baugruppe, wie z.B. ein Umrichter 40 (zum Beispiel ein Gerät der unter der Bezeichnung SINAMICS S120 bekannten Baugruppen), mit dem die Signale außerdem aufgezeichnet werden können. Die einzelnen, am Kettenprüfstand für die Referenzketten aufgezeichneten Signale und der dazugehörige berechnete Kennwert für das o.g. Ausführungsbeispiel sind in Tabelle 1 aufgeführt.

	Beschreibung	Berechneter Kennwert
Signal 1	Antriebssignal (8 kHz)	FFT, keine weitere Auswertung
Signal 2	Schwingungssignal vorne links vertikal	FFT -> Zahneingriffsfrequenz (Peak, PiB ¹)
Signal 3	Schwingungssignal vorne links horizontal	FFT -> Zahneingriffsfrequenz (Peak, PiB ¹)
Signal 4	Schwingungssignal vorne rechts vertikal	FFT -> Zahneingriffsfrequenz (Peak, PiB ¹)
Signal 5	Schwingungssignal vorne rechts horizontal	FFT -> Zahneingriffsfrequenz (Peak, PiB ¹)
Signal 6	Schwingungssignal hinten links vertikal	FFT -> Zahneingriffsfrequenz (Peak, PiB ¹)
Signal 7	Schwingungssignal hinten links horizontal	FFT -> Zahneingriffsfrequenz (Peak, PiB ¹)
Signal 8	Position Spannzyylinder links	MAX-MIN
Signal 9	Position Spannzyylinder rechts	MAX-MIN
Signal 10	Druck am Spannzyylinder	MAX-MIN
Signal 11	Drehmoment (1 kHz)	Mittelwert

¹ PiB="Power in Band"

Tabelle 1

- 5 Die Kennwerte zu den Signalen 1 bis 7 wurden mithilfe der Fast-Fourier-Transformation (FFT) berechnet und für die Signale 2 bis 7 mit einem PiB-Algorithmus („Power in Band“-Algorithmus) ausgewertet. Der PiB-Algorithmus summiert die Amplituden aller Frequenzen in einen festgelegten Frequenzbereich
- 10 auf und beschreibt sie als Kennwert. Hierdurch werden explizit die zusätzlich durch Fremdkörpereingriff, wie z.B. Verschmutzungen, angeregten Schwingungen hervorgehoben. In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel wurde eine Auswertung für das Antriebssignal (Signal 1) als nicht sinnvoll befunden, da bei

der Fast-Fourier-Transformation eine Zahneingriffsfrequenz ähnlich der des Kettenrads berechnet wurde. Daher ist eine PiB (Power in Band"-Auswertung aufgrund einer Überlagerung durch Seitenbänder beider Frequenzen nicht sinnvoll möglich. Außerdem wurde bei einer Peakauswertung kein Trend ermittelt. Für die Signale 2 bis 7 wurden die Zahneingriffsfrequenzen nach PiB und Peaks ausgewertet. Die Signale 8 bis 10 wurden nach Maximal- und Minimalwerten ausgewertet. Von Signal 11 (Drehmoment) wurde ein Mittelwert gebildet.

In einem zweiten Schritt 42 werden die Kennwerte der Referenzketten über der Zeit graphisch dargestellt, und es erfolgt bevorzugt eine Auswahl relevanter Signale und Kennwerte. Bei dieser Auswahl wird z.B. berücksichtigt, dass nicht bei allen Kennwertverläufen ein Trend zu erkennen ist oder dass bestimmte Kennwertverläufe aufgrund spezieller Betriebsbedingungen einer Kette keine repräsentativen Ergebnisse liefern. Wenn eine Kette z.B. mehrmals nach Pausen von mehreren Wochen wieder angefahren wird, ergeben sich Drehmomentspitzen, so dass der Drehmomentverlauf stark von einem Drehmomentverlauf einer Kette abweicht, die durchgehend betrieben wird. In diesem Ausführungsbeispiel haben die Kennwerte von fünf Signalen einen Trend erkennen lassen; dies sind die Signale 2 und 3 (PiB-Auswertung), 8, 10 und 11 gemäß Tabelle 1.

Wenn sich bei den Verschleißversuchen unterschiedliche Lebensdauern für die Referenzkomponenten ergeben, wobei diese mit unterschiedlichen Belastungen, wie z.B. unterschiedlichen Taktraten oder unterschiedlichem Druck am Spannzylinder, betrieben worden sind, ist es sinnvoll, die Lebensdauern der einzelnen Referenzkomponenten zu normieren. Dazu wird in einem dritten Schritt 44 die Zeitachse der Kennwertverläufe mit einem Maß für die Belastung, der die jeweilige Referenzkette während ihres Betriebes ausgesetzt war, skaliert. Wenn beispielsweise eine erste Kette mit 120 Takten, eine zweite Kette mit 100 Takten und eine dritte Kette mit 140 Takten betrieben wurde, und sich bei den Verschleißversuchen eine Lebensdauer für die erste Kette von 43 Tagen, für die zweite Kette von 57

Tagen und für die dritte Kette von 35 Tagen ergibt, entspricht eine auf eine Belastung von 100 Takten skalierte Lebensdauer 51,6 Tage für die erste Kette, 57 Tage für die zweite Kette und 49 Tage für die dritte Kette.

5

In einem vierten Schritt 46 wird eine Approximation der skalierten Kennwertverläufe durch eine mathematische Funktion für die ausgewählten Kennwerte durchgeführt. Die zur Approximation verwendete mathematische Funktion ist zum Beispiel ein quadratisches Polynom.

10

Der vierte Schritt 46 kann gegebenenfalls auch vor dem dritten Schritt 44 durchgeführt werden.

15

In den Figuren FIG 4 und FIG 5 sind Beispiele für Kennwertverläufe und eine Approximation durch ein quadratisches Polynom dargestellt. In FIG 4 ist in einem Koordinatensystem auf der Abszisse die Zeit in Tagen und auf der Ordinate eine PiB Zahn-

20

eingriffsfrequenz aufgetragen. FIG 4 zeigt den Trend des Schwingungssignals als Referenzkennwertverlauf 48, 50, gemessen vorne links in vertikaler (Signal 2) und horizontaler (Signal 3) Richtung, sowie ein durch ein quadratisches Polynom approximierter Referenzkennwertverlauf 52, 54 für jeden Referenzkennwertverlauf 48, 50 für die dritte Kette (s.o.). Die

25

Kette wurde bei 140 Takten und einem Druck von 5 bar betrieben. In FIG 5 ist in einem Koordinatensystem auf der Abszisse die Zeit in Tagen und auf der Ordinate ein Drehmoment in Nm aufgetragen. FIG 5 zeigt den Trend des Drehmoments (Mittelwert) (Signal 11) derselben Kette als Referenzkennwertverlauf

30

56 und den entsprechend mit einem quadratischen Polynom approximierten Referenzkennwertverlauf 58.

35

In FIG 6 ist in einem Koordinatensystem auf der Abszisse die Zeit in Tagen und auf der Ordinate die Restlebensdauer in Tagen aufgetragen. FIG 6 zeigt die für die o.g. fünf Signale ermittelten Restlebensdauern der bereits in Bezug auf FIG 4 und FIG 5 betrachteten Kette. Für die Ermittlung der Restlebensdauer 12 (FIG 1) wird für jeden von einem Sensor 34, 36, 38,

40 abgerufenen aktuellen Kennwert ein zugehöriger Zeitwert aus dem entsprechenden approximierten Referenzkennwertverlauf 52, 54, 58 ermittelt. Aus der Differenz der erwarteten Gesamtlebensdauer und dieses Zeitwerts ergibt sich die Restlebensdauer 12 (FIG 1) der Kette. Allgemein kann die erwartete Gesamtlebensdauer einer Maschinenkomponente z.B. die Gesamtlebensdauer der Referenzkomponente sein, aus deren Referenzkennwertverlauf der Zeitwert ermittelt wurde, oder eine über alle in den Verschleißversuchen verwendeten Maschinenkomponenten gemittelte Gesamtlebensdauer, oder auch eine vom Hersteller der Maschinenkomponente angegebene Gesamtlebensdauer.

Um die Streuung der Restlebensdauerwerte der einzelnen Signale zu reduzieren, werden in einem fünften Schritt 60 des ersten Auswertealgorithmus 16 (FIG 3) die Koeffizienten der quadratischen Polynome (angepassten Kennwertverläufe 52, 54, 58) über alle Ketten kennwertspezifisch gemittelt. Dabei kann zusätzlich ein Gewichtungsfaktor miteingerechnet werden, der die Relevanz des entsprechenden Kennwerts ausdrückt. Daraus ergeben sich über mehrere Ketten gemittelte Verschleißverläufe.

Der zweite Auswertealgorithmus 18 ist detailliert in FIG 7 dargestellt und umfasst einen ersten Schritt 62, in dem für jeden aktuellen, ausgewählten Kennwert ein zugehöriger Zeitwert aus einem entsprechenden approximierten und gegebenenfalls gemittelten Referenzkennwertverlauf 52, 54, 58 ermittelt wird. Die geschätzte Restlebensdauer für jeden ausgewählten Kennwert ergibt sich aus der Differenz der erwarteten Gesamtlebensdauer der Kette und dem jeweils für jeden Kennwert ermittelten Zeitwert. In einem zweiten Schritt 64 des zweiten Auswertealgorithmus 18 werden die im ersten Schritt 62 des zweiten Auswertealgorithmus 18 ermittelten Restlebensdauern gemittelt. Der gemittelte Wert entspricht dann einer mit dem Verfahren 10 (FIG 1) ermittelten Restlebensdauer 12 (FIG 1).

In FIG 8 ist in einem Koordinatensystem auf der Abszisse die Zeit in Tagen und auf der Ordinate die Restlebensdauer in Tagen aufgetragen. FIG 8 zeigt die mit dem erfindungsgemäßen

Verfahren 10 (FIG 1) ermittelte Restlebensdauer 12 einer Kette, wobei die Restlebensdauern von fünf ausgewählten Signalen (s.o.) gemittelt wurden. Außerdem zeigt FIG 8 eine ermittelte Restlebensdauer, bei der der approximierte Referenzkennwertverlauf 58 für ein Drehmoment als alleiniger Referenzkennwertverlauf zur Ermittlung der Restlebensdauer herangezogen wurde. Ein Restlebensdauererlauf 66 der auf Basis des Drehmoments ermittelten Restlebensdauer ähnelt einem über fünf Signale gemittelten Restlebensdauererlauf 68 für die Referenzketten, so dass auch eine Ermittlung der Restlebensdauer 12 allein mit Kennwerten für ein Drehmoment aussichtsreich ist.

Anwendungen des Verfahrens haben außerdem gezeigt, dass keine schnelle Abtastung des Drehmoments für die Restlebensdauerermittlung notwendig ist, jedoch auf der Basis hochabgetasteter Antriebssignale aus dem (SINAMICS-)Umrichter 40 (Drehmoment, Drehzahl) eine Getriebeüberwachung denkbar wäre.

Das vorangehend anhand eines Ausführungsbeispiels unter Verwendung von Ketten beschriebene Verfahren lässt sich auch auf andere Maschinenkomponenten, z.B. Kugelgewindetriebe, anwenden.

Einzelne im Vordergrund stehende Aspekte der hier eingereichten Beschreibung lassen sich damit kurz wie folgt zusammenfassen: Es wird ein Verfahren 10 zum Ermitteln einer Restlebensdauer 12 einer Maschinenkomponente 17 angegeben,

- wobei ein Referenzkennwertverlauf 48, 50, 56 mindestens eines Kennwerts aus mindestens einem Verschleißversuch einer zu der Maschinenkomponente 17 passenden Referenzkomponente aus einer Datenbasis 14 abgerufen wird,
- wobei eine Approximation des Referenzkennwertverlaufs 48, 50, 56 durch eine mathematische Funktion durchgeführt wird,
- wobei für die Maschinenkomponente 17 mindestens ein aktueller Kennwert 20 von einem Sensor 34, 36, 38, 40 abgerufen wird,
- wobei aus dem approximierten Kennwertverlauf 52, 54, 58 ein dem aktuellen Kennwert 20 zugehöriger Zeitwert ermittelt

wird und

- wobei sich die Restlebensdauer 12 als Differenz aus einer erwarteten Gesamtlebensdauer der Maschinenkomponente 17 und dem ermittelten Zeitwert ergibt.

Patentansprüche

1. Verfahren (10) zum Ermitteln einer Restlebensdauer (12) einer Maschinenkomponente (17),

5 wobei ein Referenzkennwertverlauf (48, 50, 56) mindestens eines Kennwerts aus mindestens einem Verschleißversuch einer zu der Maschinenkomponente (17) passenden Referenzkomponente aus einer Datenbasis (14) abgerufen wird,
wobei eine Approximation des Referenzkennwertverlaufs (48, 50,
10 56) durch eine mathematische Funktion durchgeführt wird,
wobei für die Maschinenkomponente (17) mindestens ein aktueller Kennwert (20) von einem Sensor (34, 36, 38, 40) abgerufen wird,
wobei aus dem approximierten Kennwertverlauf (52, 54, 58) ein
15 dem aktuellen Kennwert (20) zugehöriger Zeitwert ermittelt wird und
wobei sich die Restlebensdauer (12) als Differenz aus einer erwarteten Gesamtlebensdauer der Maschinenkomponente (17) und dem ermittelten Zeitwert ergibt.

20

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei, wenn aus mindestens zwei Verschleißversuchen historische Kennwerte aus der Datenbasis (14) abgerufen werden, bei unterschiedlichen Gesamtlebensdauern der jeweiligen Referenzkomponenten die Zeitachse der Kennwertverläufe (48, 50, 56) vor der Approximation mit einem Maß für eine Belastung, der die jeweilige Referenzkomponenten während ihres Betriebs ausgesetzt war, skaliert wird.

25

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der oder jeder Kennwertverlauf (48, 50, 56) mit einem quadratischen Polynom approximiert wird.

30

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei, wenn Daten aus mindestens zwei Verschleißversuchen abgerufen werden, die jeweiligen Koeffizienten der quadratischen Polynome für jeden Kennwert gemittelt werden.

35

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die Kennwerte vor der Mittelung nach Relevanz gewichtet werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, wobei eine für
5 mindestens einen ersten und einen zweiten aktuellen Kennwert
(20) ermittelte Restlebensdauer (12) gemittelt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei
bei Verfügbarkeit von mehreren verschiedenen Referenzkennwert-
10 verläufen (48, 50, 56) eine Auswahl der zum Ermitteln der
Restlebensdauer (12) verwendbaren Kennwerte durchgeführt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei
ein Referenzkennwertverlauf (56) mit Kennwerten für ein Dreh-
15 moment als alleiniger Referenzkennwertverlauf (48, 50, 56)
verwendet wird.

9. Computerprogramm mit durch einen Computer ausführbaren Pro-
grammcodeanweisungen zur Implementierung des Verfahrens nach
20 einem der Ansprüche 1 bis 8, wenn das Computerprogramm auf ei-
nem Computer ausgeführt wird.

10. Computerprogrammprodukt, insbesondere Speichermedium, mit
einem durch einen Computer ausführbaren Computerprogramm ge-
25 mäß Anspruch 9.

11. Computersystem auf dem ein Computerprogramm nach Anspruch
9 geladen ist.

FIG 1

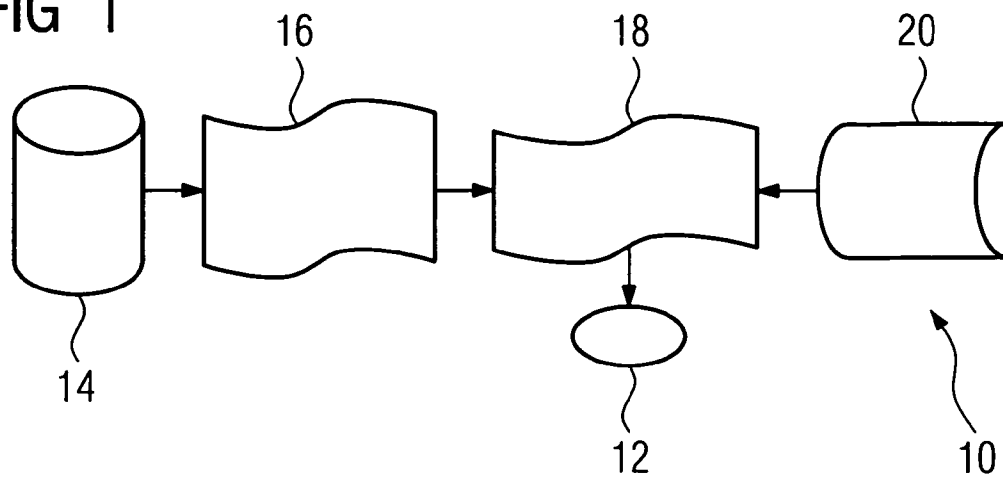
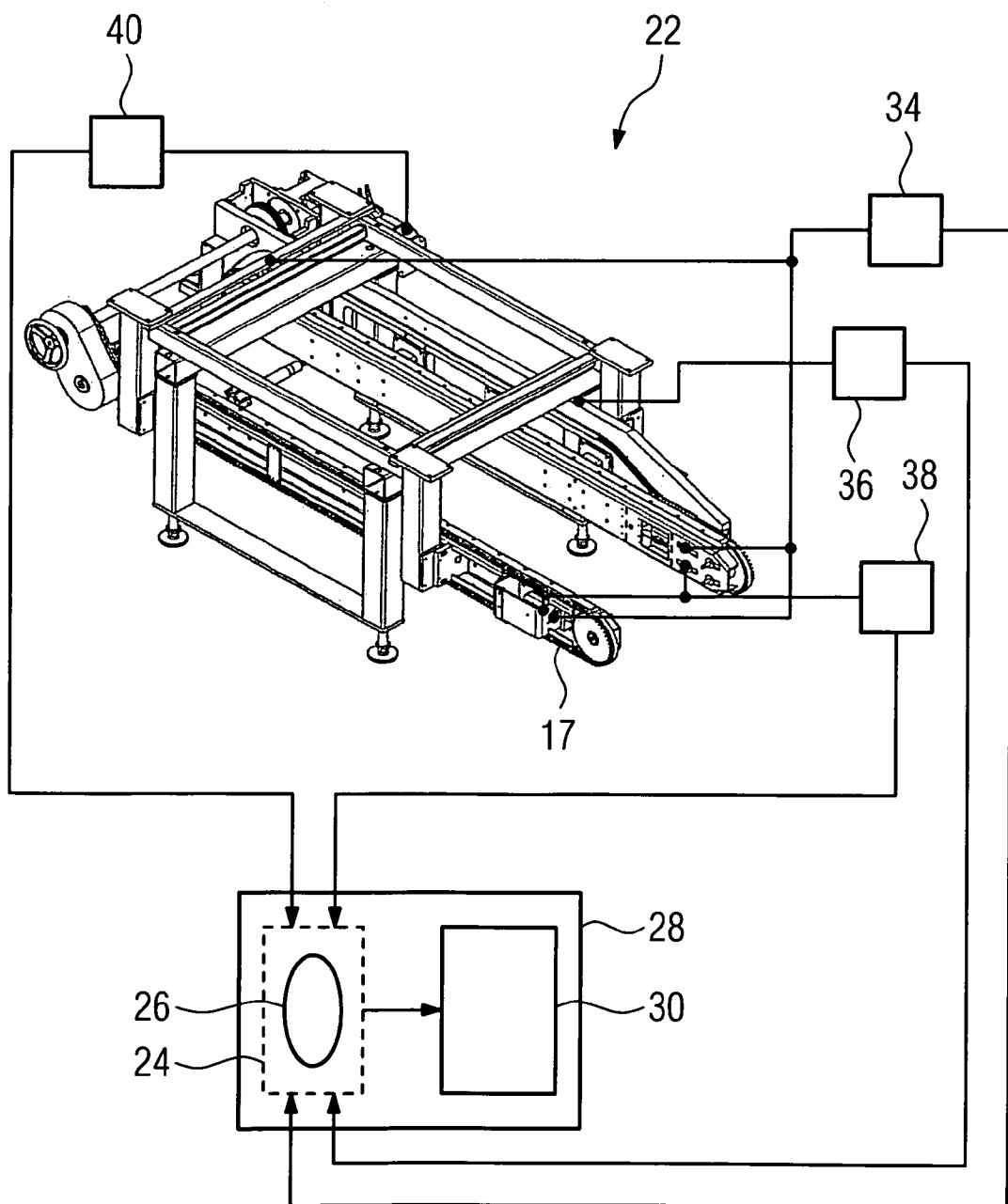


FIG 2



ERSATZBLATT (REGEL 26)

FIG 3

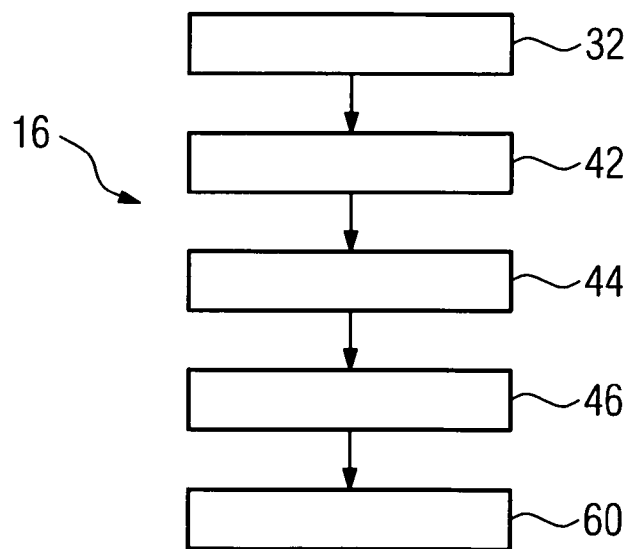


FIG 4

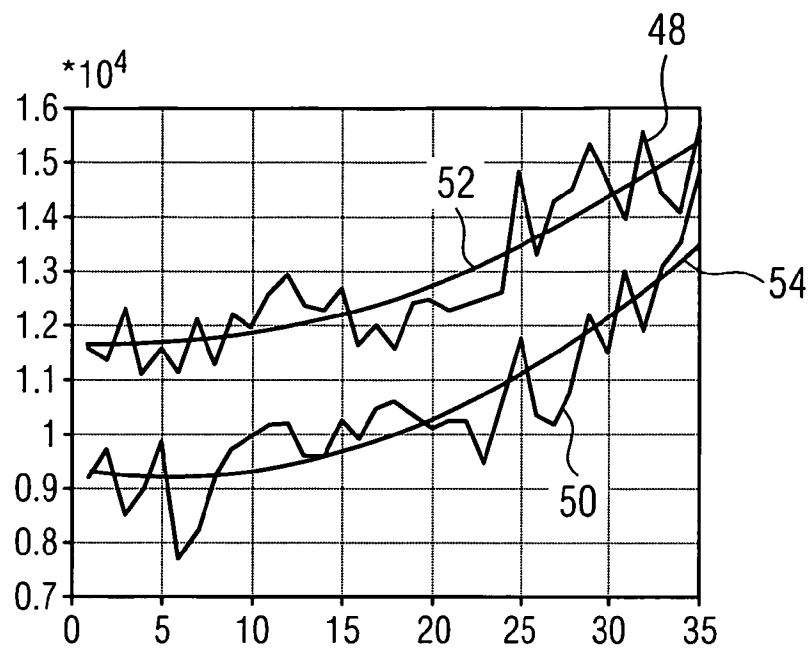


FIG 5

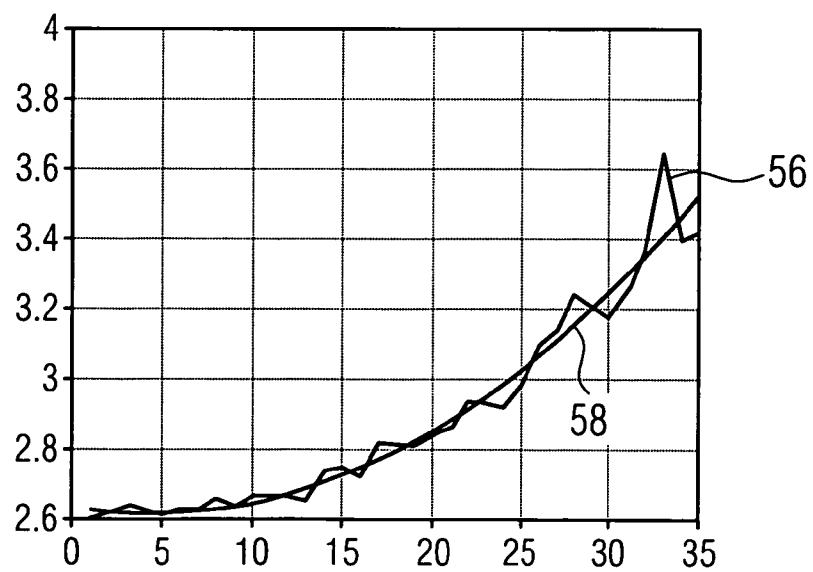


FIG 6

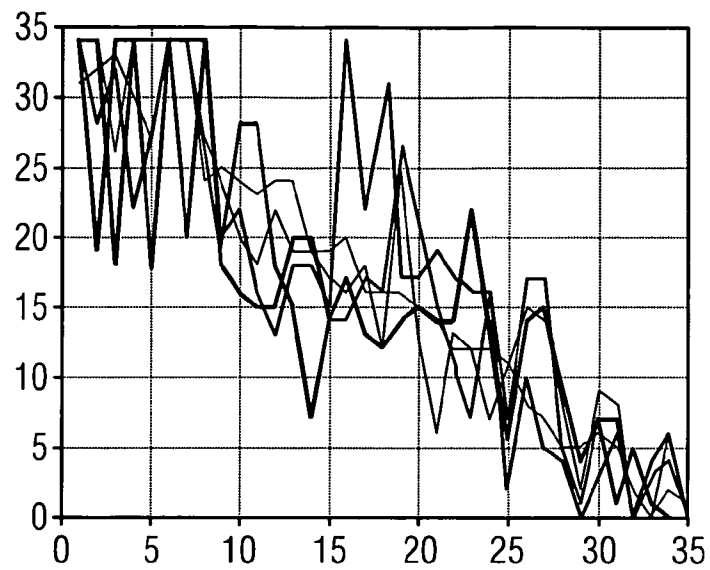


FIG 7

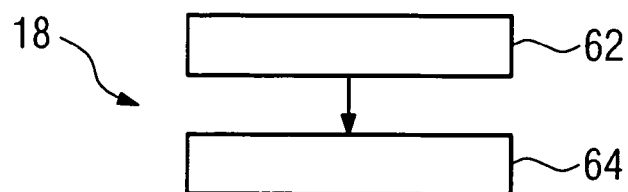


FIG 8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2011/059415

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G05B19/4065

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)

G05B

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 practical, 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	DE 10 2004 060528 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 22 June 2006 (2006-06-22) paragraph [0010] - paragraph [0034] -----	1-11
X	EP 2 026 157 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 18 February 2009 (2009-02-18) paragraph [0004] - paragraph [0060] -----	1-11
Y	EP 1 607 193 A2 (ABB PATENT GMBH [DE]) 21 December 2005 (2005-12-21) paragraph [0004] - paragraph [0018] -----	1,9-11
Y	EP 2 141 560 A2 (HONEYWELL INT INC [US]) 6 January 2010 (2010-01-06) paragraph [0006] - paragraph [0037] -----	1,9-11



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 document 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

13 February 2012

Date of mailing of the international search report

21/02/2012

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

Patsiopoulos, N

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2011/059415

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102004060528 A1	22-06-2006	CN 101443735 A	27-05-2009
		DE 102004060528 A1	22-06-2006
		EP 1828894 A2	05-09-2007
		JP 4629735 B2	09-02-2011
		JP 2008524678 A	10-07-2008
		US 2009119029 A1	07-05-2009
		WO 2006063923 A2	22-06-2006

EP 2026157 A1	18-02-2009	DE 102007038890 A1	26-02-2009
		EP 2026157 A1	18-02-2009
		US 2009089033 A1	02-04-2009

EP 1607193 A2	21-12-2005	DE 102004028557 A1	16-02-2006
		EP 1607193 A2	21-12-2005
		US 2005278067 A1	15-12-2005

EP 2141560 A2	06-01-2010	EP 2141560 A2	06-01-2010
		US 2009326890 A1	31-12-2009

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2011/059415

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G05B19/4065
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G05B

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	DE 10 2004 060528 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 22. Juni 2006 (2006-06-22) Absatz [0010] - Absatz [0034] -----	1-11
X	EP 2 026 157 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 18. Februar 2009 (2009-02-18) Absatz [0004] - Absatz [0060] -----	1-11
Y	EP 1 607 193 A2 (ABB PATENT GMBH [DE]) 21. Dezember 2005 (2005-12-21) Absatz [0004] - Absatz [0018] -----	1,9-11
Y	EP 2 141 560 A2 (HONEYWELL INT INC [US]) 6. Januar 2010 (2010-01-06) Absatz [0006] - Absatz [0037] -----	1,9-11



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" älteres Dokument, 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 anderen 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

13. Februar 2012

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

21/02/2012

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

Patsiopoulos, N

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2011/059415

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102004060528 A1	22-06-2006	CN 101443735 A	27-05-2009
		DE 102004060528 A1	22-06-2006
		EP 1828894 A2	05-09-2007
		JP 4629735 B2	09-02-2011
		JP 2008524678 A	10-07-2008
		US 2009119029 A1	07-05-2009
		WO 2006063923 A2	22-06-2006

EP 2026157 A1	18-02-2009	DE 102007038890 A1	26-02-2009
		EP 2026157 A1	18-02-2009
		US 2009089033 A1	02-04-2009

EP 1607193 A2	21-12-2005	DE 102004028557 A1	16-02-2006
		EP 1607193 A2	21-12-2005
		US 2005278067 A1	15-12-2005

EP 2141560 A2	06-01-2010	EP 2141560 A2	06-01-2010
		US 2009326890 A1	31-12-2009
