

(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
14. Januar 2016 (14.01.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/005015 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
H03M 1/00 (2006.01) *G01C 19/5726* (2012.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/000816
- (22) Internationales Anmeldedatum:
17. April 2015 (17.04.2015)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2014 010 056.1 7. Juli 2014 (07.07.2014) DE
- (71) Anmelder: **NORTHROP GRUMMAN LITEF GMBH**
[DE/DE]; Lörracher Straße 18, 79115 Freiburg i. Br. (DE).
- (72) Erfinder: **OHMBERGER, Ralf, Richard**; Rosenstr.18,
79211 Denzlingen (DE). **ZIMMERMANN, Steffen**; Auf
der Ziegelbreite 3, 79331 Teningen (DE).
- (74) Anwalt: **HOFFMANN, Jörg, Peter**; Müller • Hoffmann
& Partner, St.-Martin-Strasse 58, 81541 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, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,
MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM,
PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,
SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

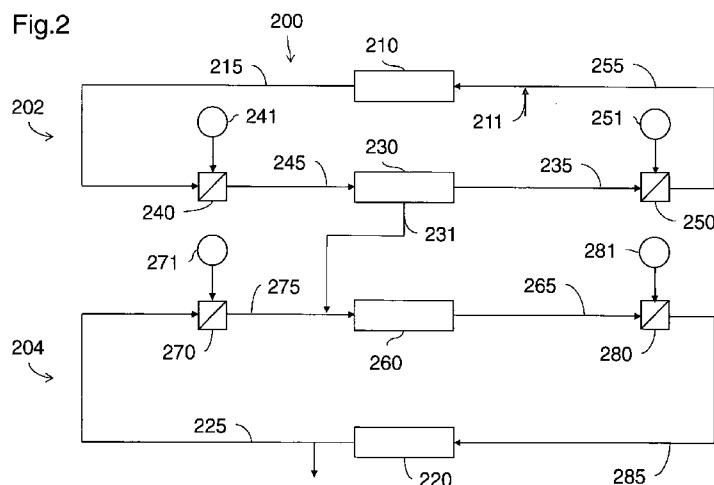
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,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

(54) Title: CONTROLLER AND METHOD FOR MINIMIZING SCALE FACTOR ERRORS OF A ROTATION RATE SENSOR

(54) Bezeichnung : STEUERVORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR MINIMIERUNG VON SKALENFAKTORFEHLERN
EINES DREHRATENSSENSORS



(57) Abstract: The invention relates to a controller (200) for controlling a rotation rate sensor, having a first control circuit (202) and a second control circuit (204). The first control circuit has a first control unit (210) for controlling an oscillation of the rotation rate sensor along a first direction, a first digital-to-analog converter (240) for converting a first digital control signal (215) output by the first control unit (210) into a first analog signal (245) with which the oscillation of the rotation rate sensor along the first direction is controlled, and a first analog-to-digital converter (250) for converting a first analog measurement signal (235) which describes the oscillation of the rotation rate sensor along the first direction into a first digital read-out signal (255) which is supplied to the first control unit (210). The second control circuit (204) has a second control unit (220) for controlling an oscillation of the rotation rate sensor along a second direction which is different from the first direction and a second digital-to-analog converter (270) for converting a second digital control signal (225) output by the second control unit into a second analog signal (275) with which the oscillation of the rotation rate sensor along the second direction is controlled.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2016/005015 A1



During the conversion process, the first digital-to-analog converter (240), the second digital-to-analog converter (270), and the first analog-to-digital converter (250) each operates using a reference voltage (241, 251, 271), and at least two of the reference voltages (241, 251, 271) of the first digital-to-analog converter (240), the second digital-to-analog converter (270), and the first analog-to-digital converter (250) are dependent on each other.

(57) Zusammenfassung: Eine Steuervorrichtung (200) zum Steuern eines Drehratensensors weist einen ersten Regelkreis (202) und einen zweiten Regelkreis (204) auf. Der erste Regelkreis weist eine erste Reglereinheit (210) zum Steuern einer Schwingung des Drehratensensors entlang einer ersten Richtung, einen ersten Digital-Analog-Wandler (240) zum Umwandeln eines von der ersten Reglereinheit (210) ausgegebenen ersten digitalen Steuersignals (215) in ein erstes analoges Signal (245), mit dem die Schwingung des Drehratensensors entlang der ersten Richtung gesteuert wird und einen ersten Analog-Digital-Wandler (250) zum Umwandeln eines ersten analogen Messsignals (235), das die Schwingung des Drehratensensors entlang der ersten Richtung beschreibt, in ein erstes digitales Auslesesignal (255), das der ersten Reglereinheit (210) zugeführt wird auf. Der zweite Regelkreis (204) weist eine zweite Reglereinheit (220) zum Steuern einer Schwingung des Drehratensensors entlang einer von der ersten Richtung verschiedenen zweiten Richtung und einen zweiten Digital-Analog-Wandler (270) zum Umwandeln eines von der zweiten Reglereinheit ausgegebenen zweiten digitalen Steuersignals (225) in ein zweites analoges Signal (275), mit dem die Schwingung des Drehratensensors entlang der zweiten Richtung gesteuert wird auf. Hierbei arbeiten der erste Digital-Analog-Wandler (240), der zweite Digital-Analog-Wandler (270) und der erste Analog-Digital-Wandler (250) beim Umwandeln mit je einer Referenzspannung (241, 251, 271) und wenigstens zwei der Referenzspannungen (241, 251, 271) des ersten Digital-Analog-Wandlers (240), des zweiten Digital-Analog-Wandlers (270) und des ersten Analog-Digital-Wandlers (250) sind voneinander abhängig.

Steuervorrichtung und Verfahren zur Minimierung von Skalenfaktorfehlern eines Drehratensensors

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Minimierung eines durch Referenzspannungen bedingten Skalenfaktorfehlers eines Drehratensensors und ein Verfahren zur Minimierung des Skalenfaktorfehlers.

5 In vielen Sensoren der heutigen Technik werden Regelkreise verwendet, um einzelne Bauteile der Sensoren anzusteuern und auf bestimmte Werte einzuregeln. Dabei ist es häufig nötig, eine digitale Regelgröße in ein analoges Signal umzuwandeln, mit dem ein zu regelndes Bauteil direkt angesteuert werden kann. Genauso kann es notwendig sein, ein analoges Messsignal, das die Reaktion des
10 Bauteils auf das analoge Steuersignal wiedergibt, in ein digitales Signal umzuwandeln, das mit der Regelgröße verglichen werden kann. Dazu werden in den Sensoren Digital-Analog-Wandler und/oder Analog-Digital-Wandler zum Umwandeln der digitalen in analoge und der analogen in digitale Signale eingesetzt.

15

Die Digital-Analog- und Analog-Digital-Wandler benutzen Referenzspannungen, um die digitalen und/oder analogen Signale abzutasten und umzuwandeln. Typischerweise werden die Digital-Analog- und/oder Analog-Digital-Wandler als vorgefertigte Bauteile in die Sensoren eingefügt. Hierbei tritt das Problem auf,
20 dass die von den Wandlern benutzten Referenzspannungen zeitlich nicht konstant sind, sondern alterungsbedingt im Laufe der Zeit höhere oder niedrigere Werte annehmen können. Eine inhärente Fehlerquelle für den Betrieb von Sensoren, die auf Digital-Analog- und/oder Analog-Digital-Wandler angewiesen sind, besteht damit in der Alterung der von diesen Wandlern benutzten Referenzspannungen.
25 Die Messgenauigkeit eines Sensors wird direkt durch die Alterung der Referenzspannungen beeinträchtigt, wenn diese als Skalenfaktor in eine von dem Sensor ausgeführte Berechnung des Messwerts eingehen.

Es ist deshalb erstrebenswert, eine Vorrichtung bereitzustellen, die einen durch
30 die Alterung von Referenzspannungen bedingten Skalenfaktorfehler minimiert. Ebenso ist es erstrebenswert, ein Verfahren zur Minimierung eines solchen Skalenfaktorfehlers anzugeben.

Insbesondere im Bereich von Drehratensensoren werden heutzutage Digital-
35 Analog-Wandler und Analog-Digital-Wandler verwendet. Fig. 1 zeigt ein schematisches Blockdiagramm eines Drehratensensors 100. Der Drehratensensor

100 weist eine Anregemasse 110 auf, die über erste Federelemente 120 mit einem Substrat verbunden sind. Die Federelemente 120 sind derart ausgebildet, dass die Anregemasse 110 bezüglich des Substrats in eine erste Richtung schwingen kann, wohingegen eine Schwingung in eine zur ersten Richtung senkrechte zweite
5 Richtung durch die spezielle Form der ersten Federelemente 120 verhindert wird. Gemäß dem in Fig. 1 dargestellten Beispiel des Drehratensensors 100 kann die Anregemasse 110 entlang der x-Richtung schwingen, wohingegen eine Auslenkung entlang der y-Richtung durch die zur y-Richtung parallele Form der ersten Federelemente 120 verhindert wird.

10

Typischerweise wird im Drehratensensor 100 die Schwingung der Anregemasse 110 entlang der x-Richtung durch Anregeelektroden 130 erzeugt. Die Schwingung wird durch Anlegen einer speziellen, zur Anregung geeigneten Spannungsform an die Anregeelektroden 130 angeregt. Zum Beispiel führt das Anlegen einer
15 Wechselspannung an die Anregeelektroden 130 zu einer wechselnden elektrostatischen Anziehung zwischen den Anregeelektroden 130 und Elektroden 132, die mit der Anregemasse 110 verbunden sind. Dadurch wird die Schwingung entlang der x-Achse angeregt.

20

Eine Auslesemasse 140 ist über zweite Federelemente 150 mit der Anregemasse 110 verbunden. Die zweiten Federelemente 150 sind derart ausgebildet, dass die Auslesemasse 140 entlang der zur ersten Richtung senkrechten zweiten Richtung schwingen kann, wohingegen eine Schwingung der Auslesemasse 140 gegenüber der Anregemasse 110 entlang der ersten Richtung durch die Form der zweiten
25 Federelemente 150 verhindert wird. In dem in Fig. 1 dargestellten Beispiel kann die Auslesemasse 140 entlang der y-Richtung, aber nicht entlang der x-Richtung ausgelenkt werden. Eine Auslenkung der Auslesemasse 140 wird durch die Veränderung einer an Ausleseelektroden 160 angelegten Spannung detektiert. Die Veränderung der Spannung an den Ausleseelektroden 160 gibt Aufschluss über
30 Frequenz und Amplitude der Schwingung der Auslesemasse 140.

35

Das Funktionsprinzip eines gemäß des Blockdiagramms aus Fig. 1 aufgebauten Drehratensensors 100 besteht darin, die Anregemasse 110 entlang der x-Richtung eine genau definierte Schwingung ausführen zu lassen. Wird der Drehratensensor
100 um eine zur x- und y-Richtung senkrecht stehende Richtung gedreht, wird eine Corioliskraft erzeugt, die die Auslesemasse 140 mit Bezug auf die Anregemasse 110 entlang der y-Richtung auslenkt. Diese Auslenkung ist proportional zur Drehrate. Über die Ausleseelektroden 160, mit denen die Schwingung der Auslesemasse 140 detektiert werden kann, kann somit auf die

Drehrate der Drehung um die zur x- und y-Richtung senkrechte Richtung geschlossen werden.

Um eine möglichst große Spanne von Drehraten messen zu können und um
5 möglichst große Linearität zu erreichen, wird der Drehratensensor 100
typischerweise derart ausgelesen, dass eine Spannung an die Ausleseelektroden
160 angelegt wird, die einer Schwingung der Auslesemasse 140 gegenüber der
Anregemasse 110 entgegenwirkt. Wenn die Größe der entgegenwirkenden
Spannung derart eingestellt ist, dass trotz einer Drehung keine Schwingung der
10 Auslesemasse 140 erfolgt, kann über die angelegte Spannung die Drehrate
bestimmt werden. Das Anlegen der die Kräfte kompensierenden Spannung kann
im Zeitmultiplex zur Auslesung über dieselbe Ausleseelektrode 160 oder über
separate Ausleseelektrode(n) 160 erfolgen.

15 Es werden also in einem Drehratensensor 100 gemäß dem Stand der Technik zwei
Schwingungen über Regelkreise angesteuert. Zum einen wird die Schwingung der
Anregemasse 110 entlang der x-Richtung über die Anregeelektroden 130 auf einen
zuvor festgelegten Wert eingestellt. Zum anderen wird über die Ausleseelektroden
160 die Schwingung der Auslesemasse 140 unterdrückt, das heißt, auf eine
20 Amplitude der Größe Null geregelt.

Dazu werden üblicherweise zwei Regelkreise verwendet, die jeweils einen Digital-
Analog-Wandler und einen Analog-Digital-Wandler aufweisen. Jeder dieser
Wandler wird mit einer Referenzspannung betrieben. Die Werte der
25 Referenzspannungen treten in einem Skalenfaktor auf, der den Zusammenhang
zwischen der notwendigerweise an die Ausleseelektroden anzulegenden Spannung
und der Drehrate angibt. Eine Änderung der Referenzspannungen aufgrund von
Alterung wirkt sich deshalb direkt auf den Skalenfaktor und damit auf die
Messgenauigkeit des Drehratensensors aus. Im ungünstigsten Fall, das heißt,
30 wenn die Referenzspannungen derart altern, dass sich alterungsabhängige Fehler
kumulieren, kann ein Fehler, der durch die Änderung der Referenzspannungen
hervorgerufen wird, mit der vierten Potenz eingehen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, eine Steuervorrichtung zum Steuern
35 eines Drehratensensors anzugeben, in der der Skalenfaktorfehler aufgrund von
Änderungen von Referenzspannungen, z.B. wegen Alterung, minimiert werden
kann.

Diese Aufgabe wird durch den Gegenstand der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Weiterbildungen werden durch den Gegenstand der abhängigen Patentansprüche angegeben.

- 5 Eine Steuervorrichtung zum Steuern eines Drehratensensors weist einen ersten Regelkreis und einen zweiten Regelkreis auf. Der erste Regelkreis weist eine erste Reglereinheit zum Steuern einer Schwingung des Drehratensensors entlang einer ersten Richtung auf. Zudem weist der erste Regelkreis einen ersten Digital-Analog-Wandler zum Umwandeln eines von der ersten Reglereinheit ausgegebenen ersten digitalen Steuersignals in ein erstes analoges Signal auf, mit dem die Schwingung des Drehratensensors entlang der ersten Richtung gesteuert wird. Des Weiteren weist der erste Regelkreis einen ersten Analog-Digital-Wandler zum Umwandeln eines ersten analogen Messsignals, das die Schwingung des Drehratensensors entlang der ersten Richtung beschreibt, in ein erstes digitales Auslesesignal auf, das der ersten Reglereinheit zugeführt wird. Der zweite Regelkreis weist eine zweite Reglereinheit zum Steuern einer Schwingung des Drehratensensors entlang einer von der ersten Richtung verschiedenen zweiten Richtung auf. Zudem weist der zweite Regelkreis einen zweiten Digital-Analog-Wandler zum Umwandeln eines von der zweiten Reglereinheit ausgegebenen zweiten digitalen Steuersignals in ein zweites analoges Signal auf, mit dem die Schwingung des Drehratensensors entlang der zweiten Richtung gesteuert wird. Hierbei arbeiten der erste Digital-Analog-Wandler, der zweite Digital-Analog-Wandler und der erste Analog-Digital-Wandler beim Umwandeln mit je einer Referenzspannung. Zudem sind wenigstens zwei der Referenzspannungen des ersten Digital-Analog-Wandlers, des zweiten Digital-Analog-Wandlers und des ersten Analog-Digital-Wandlers voneinander abhängig.

- Des Weiteren werden die oben genannten Aufgaben durch ein Verfahren zum Steuern eines Drehratensensors gelöst. In einem ersten Regelkreis weist das Verfahren die Schritte auf: mit einem ersten Digital-Analog-Wandler Umwandeln eines von einer ersten Reglereinheit zum Steuern einer Schwingung des Drehratensensors entlang einer ersten Richtung ausgegebenen ersten digitalen Steuersignals in ein erstes analoges Signal, mit dem die Schwingung des Drehratensensors entlang der ersten Richtung gesteuert wird, und mit einem ersten Analog-Digital-Wandler Umwandeln eines ersten analogen Messsignals, das die Schwingung des Drehratensensors entlang der ersten Richtung beschreibt, in ein erstes digitales Auslesesignal, das der ersten Reglereinheit zugeführt wird. In einem zweiten Regelkreis weist das Verfahren die Schritte auf: mit einem zweiten Digital-Analog-Wandler Umwandeln eines von einer zweiten Reglereinheit zum

Steuern einer Schwingung des Drehratensensors entlang einer von der ersten Richtung verschiedenen zweiten Richtung ausgegebenen zweiten digitalen Steuersignals in ein zweites analoges Signal, mit dem die Schwingung des Drehratensensors entlang der zweiten Richtung gesteuert wird. Hierbei arbeiten
5 der erste Digital-Analog-Wandler, der zweite Digital-Analog-Wandler und der erste Analog-Digital-Wandler beim Umwandeln mit je einer Referenzspannung. Das Verfahren weist zudem den Schritt auf: Einstellen von wenigstens zwei der Referenzspannungen des ersten Digital-Analog-Wandlers, des zweiten Digital-Analog-Wandlers und des ersten Analog-Digital-Wandlers derart, dass sie
10 voneinander abhängig sind.

Durch diese Ausgestaltung einer Steuervorrichtung wird erreicht, dass sich bei einer Änderung der Referenzspannungen des ersten Digital-Analog-Wandlers, des zweiten Digital-Analog-Wandlers und/oder des ersten Analog-Digital-Wandlers,
15 z.B. aufgrund von Alterung, die nachteiligen Effekte der Änderung durch Kompensation aufgrund der gegenseitigen Abhängigkeit von wenigstens zwei der Referenzspannungen im Skalenfaktor aufheben. Dadurch wird die Abhängigkeit des Skalenfaktors z.B. von der Alterung der Referenzspannungen weniger stark abhängig und eine größere Genauigkeit und Verlässlichkeit des Drehratensensors
20 kann erreicht werden.

Die Abhängigkeit des Skalenfaktors von der Änderung der Referenzspannungen, z.B. aufgrund von Alterung, kann dadurch von der vierten Potenz auf die zweite Potenz gesenkt werden. Die Abhängigkeit des Skalenfaktors von Alterungseffekten
25 kann auch ganz vermieden werden.

Es können auch jeweils mehr als ein erster Digital-Analog-Wandler, ein zweiter Digital-Analog-Wandler bzw. ein erster Analog-Digital-Wandler verwendet werden, z.B. zwei erste Digital-Analog-Wandler, zwei zweite Digital-Analog-Wandler bzw.
30 zwei erste Analog-Digital-Wandler. Die Referenzspannungen dieser Wandler sind dann jeweils voneinander abhängig.

In einer Weiterbildung kann die Referenzspannung des ersten Analog-Digital-Wandlers zur Referenzspannung des zweiten Digital-Analog-Wandlers direkt
35 proportional sein.

Dadurch wird gewährleistet, dass bei einer Änderung der Referenzspannung des ersten Analog-Digital-Wandlers, z.B. aufgrund von Alterung, die Referenzspannung des zweiten Digital-Analog-Wandlers sich in die gleiche

Richtung verändert wie die Referenzspannung des ersten Analog-Digital-Wandlers. Das heißt, dass, wenn die Referenzspannung des ersten Analog-Digital-Wandlers im zeitlichen Verlauf größer wird, auch die Referenzspannung des zweiten Digital-Analog-Wandlers im Laufe der Zeit größer wird. Umgekehrt wird bei einer
5 Verkleinerung der Referenzspannung des ersten Analog-Digital-Wandlers auch die Referenzspannung des zweiten Digital-Analog-Wandlers im Laufe der Zeit kleiner. Die Änderungsraten der Referenzspannungen können hierbei dem Verhältnis nach konstant sein. Dies führt zu einer Kompensation der Änderungseffekte innerhalb des Skalenfaktors des Drehratensensors und damit zu einer größeren
10 Verlässlichkeit und Genauigkeit des Sensors. Der Skalenfaktor kann dadurch nur noch in der zweiten Potenz von Alterungseffekten der Referenzspannungen abhängig sein.

In einer Weiterbildung kann die Referenzspannung des ersten Analog-Digital-Wandlers zur Referenzspannung des ersten Digital-Analog-Wandlers direkt
15 proportional sein.

Dadurch wird gewährleistet, dass bei einer Änderung der Referenzspannung des ersten Analog-Digital-Wandlers, z.B. aufgrund von Alterung, die
20 Referenzspannung des ersten Digital-Analog-Wandlers sich in die gleiche Richtung verändert wie die Referenzspannung des ersten Analog-Digital-Wandlers. Das heißt, dass, wenn die Referenzspannung des ersten Analog-Digital-Wandlers im zeitlichen Verlauf größer wird, auch die Referenzspannung des ersten Digital-Analog-Wandlers im Laufe der Zeit größer wird. Umgekehrt wird bei einer
25 Verkleinerung der Referenzspannung des ersten Analog-Digital-Wandlers auch die Referenzspannung des ersten Digital-Analog-Wandlers im Laufe der Zeit kleiner. Die Raten der Zunahme und/oder Abnahme der Referenzspannungen können hierbei über einen zeitlich konstanten Wert gekoppelt sein, d.h. die Änderungsraten der Referenzspannungen können dem Verhältnis nach konstant
30 sein. Dies führt zu einer Kompensation der Änderungseffekte innerhalb des Skalenfaktors des Drehratensensors und damit zu einer größeren Verlässlichkeit und Genauigkeit des Sensors. Der Skalenfaktor kann dadurch nur noch in der zweiten Potenz von Änderungs- bzw. Alterungseffekten der Referenzspannungen abhängig sein.

35 In einer Weiterbildung kann die Referenzspannung des ersten Digital-Analog-Wandlers direkt proportional zur Referenzspannung des zweiten Digital-Analog-Wandlers sein und die Referenzspannung des ersten Analog-Digital-Wandlers

gleichzeitig direkt proportional zur dritten Potenz der Referenzspannung des ersten Digital-Analog-Wandlers sein.

Dadurch wird gewährleistet, dass sich bei einer Änderung der Referenzspannung des ersten Digital-Analog-Wandlers, z.B. aufgrund von Alterung, die Referenzspannung des zweiten Digital-Analog-Wandlers in die gleiche Richtung verändert wie die Referenzspannung des ersten Digital-Analog-Wandlers. Das heißt, dass, wenn die Referenzspannung des ersten Digital-Analog-Wandlers im zeitlichen Verlauf größer wird, auch die Referenzspannung des zweiten Digital-Analog-Wandlers im Laufe der Zeit größer wird. Umgekehrt wird bei einer Verkleinerung der Referenzspannung des ersten Digital-Analog-Wandlers auch die Referenzspannung des zweiten Digital-Analog-Wandlers im Laufe der Zeit kleiner. Die Rate der Zunahme und/oder Abnahme der Referenzspannungen können hierbei über einen zeitlich konstanten Wert gekoppelt sein.

Gleichzeitig wird gewährleistet, dass sich bei einer Änderung der Referenzspannung des ersten Analog-Digital-Wandlers, z.B. aufgrund von Alterung, die Referenzspannung des ersten Digital-Analog-Wandlers in die gleiche Richtung und in der dritten Potenz der Referenzspannung des ersten Digital-Analog-Wandlers ändert. Das heißt, bei einer Änderung der Referenzspannung des ersten Analog-Digital-Wandlers um den Betrag Δ ändert sich bei kleinem Δ die Referenzspannung des ersten Digital-Analog-Wandlers proportional zu 3Δ .

Dies führt zu einer Kompensation der Änderungs- bzw. Alterungseffekte innerhalb des Skalenfaktors des Drehratensensors und damit zu einer größeren Verlässlichkeit und Genauigkeit des Sensors. Der Skalenfaktor kann dadurch nur noch in der zweiten Potenz von Änderungs- bzw. Alterungseffekten der Referenzspannungen abhängig sein. Die Abhängigkeit des Skalenfaktors von Änderungs- bzw. Alterungseffekten der Referenzspannungen kann dadurch aber auch gänzlich eliminiert werden.

In einer Weiterbildung kann die Referenzspannung des ersten Digital-Analog-Wandlers invers proportional zur Referenzspannung des zweiten Digital-Analog-Wandlers sein oder sich bei Alterung gegenläufig zur Referenzspannung des zweiten Digital-Analog-Wandlers ändern.

Dadurch wird gewährleistet, dass sich bei einer Änderung der Referenzspannung des ersten Digital-Analog-Wandlers, z.B. aufgrund von Alterung, die Referenzspannung des zweiten Digital-Analog-Wandlers in die entgegengesetzte

Richtung verändert wie die Referenzspannung des ersten Digital-Analog-Wandlers. Das heißt, dass, wenn die Referenzspannung des ersten Digital-Analog-Wandlers im zeitlichen Verlauf größer wird, die Referenzspannung des zweiten Digital-Analog-Wandlers im Laufe der Zeit kleiner wird. Umgekehrt wird bei einer
5 Verkleinerung der Referenzspannung des ersten Digital-Analog-Wandlers die Referenzspannung des zweiten Digital-Analog-Wandlers im Laufe der Zeit größer. Die Rate der Zunahme und Abnahme der Referenzspannungen können hierbei über einen zeitlich konstanten Wert gekoppelt sein, d.h. die Änderungsraten der Referenzspannungen können dem Verhältnis nach konstant sein. Dies führt zu
10 einer Kompensation der Änderungs- bzw. Alterungseffekte innerhalb des Skalenfaktors des Drehratensensors und damit zu einer größeren Verlässlichkeit und Genauigkeit des Sensors. Der Skalenfaktor kann dadurch nur noch in der zweiten Potenz von Änderungs- bzw. Alterungseffekten der Referenzspannungen abhängig sein.

15 In einer Weiterbildung weist der zweite Regelkreis der Steuervorrichtung einen zweiten Analog-Digital-Wandler zum Umwandeln eines zweiten analogen Messsignals, das die Schwingung des Drehratensensors entlang der zweiten Richtung beschreibt, in ein zweites digitales Auslesesignal auf, das der zweiten
20 Reglereinheit zugeführt wird. Dadurch wird gewährleistet, dass die Ausleseelektrode durch Umwandeln und Rückführen des zweiten analogen Messsignals vom zweiten Regelkreis korrekt auf die gewünschte Amplitude eingestellt werden kann. Dadurch wird ein vollwertiger Betrieb des Drehratensensors ermöglicht, indem gleichzeitig Änderungseffekte der
25 Referenzspannungen aufgrund von Alterung auf das Messergebnis reduziert sind.

In einer Weiterbildung kann eine Drehung des Drehratensensors um eine zur ersten Richtung und zur zweiten Richtung senkrecht stehende Normale die Schwingung des Drehratensensors entlang der zweiten Richtung auslösen.
30 Dadurch wird gewährleistet, dass sich der Drehratensensor zur Messung der Drehrate über die Corioliskraft eignet, wodurch ein Betrieb des Drehratensensors mittels Corioliskraftmessung möglich wird, in dem Änderungs- bzw. Alterungseffekte von Referenzspannungen auf das Messergebnis minimiert werden.

35 In einer Weiterbildung ist der Drehratensensor ein mikroelektromechanischer (MEMS) Kreisel. Dadurch können die oben geschilderten Effekte auch für den Betrieb von mikroelektromechanischen Kreisen genutzt werden.

Im Folgenden werden anhand der Figuren Ausführungsformen der Erfindung, deren Funktionsweise, sowie deren Vorteile beschrieben. Elemente der Ausführungsformen sind miteinander kombinierbar, sofern sie sich nicht ausschließen. Es zeigen:

5

Fig. 1 ein schematisches Blockdiagramm eines Drehratensensors gemäß dem Stand der Technik.

10

Fig. 2 ein schematisches Blockdiagramm einer Steuervorrichtung zum Steuern eines Drehratensensors gemäß einer Ausführungsform.

Fig. 3 ein schematisches Blockdiagramm einer Steuervorrichtung zum Steuern eines Drehratensensors gemäß einer weiteren Ausführungsform.

15

Fig. 4 ein schematisches Blockdiagramm einer Steuervorrichtung zum Steuern eines Drehratensensors gemäß einer weiteren Ausführungsform.

20

Fig. 5 eine Steuervorrichtung zum Steuern eines Drehratensensors gemäß einer weiteren Ausführungsform.

Fig. 6 ein schematisches Blockdiagramm einer Steuervorrichtung zum Steuern eines Drehratensensors gemäß einer weiteren Ausführungsform.

25

Fig. 7 ein schematisches Flussdiagramm eines Verfahrens zum Steuern eines Drehratensensors gemäß einer Ausführungsform.

30 In den Figuren sind einander entsprechende Bauteile bzw. Bauteilgruppen mit denselben Bezugszeichen gekennzeichnet.

Fig. 2 zeigt ein schematisches Blockdiagramm einer Steuervorrichtung 200 zum Steuern eines Drehratensensors. Bei dem Drehratensensor kann es sich um einen mit Bezug auf Fig. 1 beschriebenen Sensor handeln. Der Drehratensensor kann zum Beispiel ein mikro-elektro-mechanischer Sensor (MEMS) sein.

35

Die Steuervorrichtung 200 weist einen ersten Regelkreis 202 und einen zweiten Regelkreis 204 auf. Der erste Regelkreis 202 weist eine erste Reglereinheit 210

zum Steuern einer Anregeeinheit 230 auf. Die erste Reglereinheit 210 kann z.B. über die Anregeeinheit 230 eine Schwingung eines MEMS oder des Drehratensensors gemäß Fig. 1 entlang einer ersten Richtung, z.B. entlang der x-Richtung aus Fig. 1, steuern. Dazu kann die Anregeeinheit 230 eine oder mehrere
5 Anregeelektroden 130 und Elektroden 132 aufweisen, wie sie in Fig. 1 dargestellt sind.

Dazu gibt die erste Reglereinheit 210 ein erstes digitales Steuersignal 215 aus, das von einem ersten Digital-Analog-Wandler 240 in ein erstes analoges Signal
10 245 umgewandelt wird. Das erste analoge Signal 245 wird an die Anregeeinheit 230 übermittelt und dient zur Einstellung einer Frequenz und/oder Amplitude einer Schwingung, die mit der Anregeeinheit 230 angeregt wird. Die Anregeeinheit 230 gibt, wenn die entsprechenden Anregeelektroden 130 im Zeitmultiplex auch als Ausleseelektroden betrieben werden, ein erstes analoges Messsignal 235 aus,
15 das die Schwingung des Drehratensensors entlang der ersten Richtung beschreibt. Dieses Signal könnte aber auch über separate, in der Anregeeinheit 230 enthaltene Elektrodenpaare gewonnen werden. Das erste analoge Messsignal 235 wird in einem ersten Analog-Digital-Wandler 250 in ein erstes digitales Auslesesignal 255 umgewandelt, das mit einem Reglersignal 211 verglichen wird
20 und der ersten Reglereinheit 210 zugeführt wird.

Der zweite Regelkreis 204 weist eine zweite Reglereinheit 220 zum Steuern einer Ausleseereinheit 260 und damit zum Steuern einer Schwingung des Drehratensensors entlang einer von der ersten Richtung verschiedenen zweiten
25 Richtung auf. Zum Beispiel kann die Ausleseereinheit 260 eine Ausleseelektrode 160 gemäß Fig. 1 aufweisen, die eine Schwingung einer Auslesemasse entlang der zweiten Richtung detektiert, bei der es sich zum Beispiel um die in Fig. 1 gezeigte y-Richtung handeln kann. Die von der Ausleseereinheit 260 detektierte Schwingung wird durch eine Drehung des Drehratensensors ausgelöst, wenn die Amplitude der
30 vom ersten Regelkreis 202 gesteuerten Schwingung ungleich Null ist. Dies ist in Fig. 2 schematisch durch das Coriolissignal 231 dargestellt.

In erster Iteration wird das Coriolissignal 231 von der Ausleseereinheit 260 gemessen und als zweites analoges Messsignal 265 an einen zweiten Analog-Digital-Wandler 280 weitergegeben, wo es in ein zweites digitales Auslesesignal
35 285 umgewandelt wird. Das zweite digitale Auslesesignal 285 wird der zweiten Reglereinheit 220 zugeführt, die ein zweites digitales Steuersignal 225 ausgibt, um die Schwingung des Drehratensensors entlang der zweiten Richtung über Elektroden, die in der Ausleseereinheit 260 enthalten sein können, auf Null zu

regeln. Das zweite digitale Steuersignal 225 wird auch nach außen ausgegeben, und gibt die Stärke der Drehung des Drehratensensors wieder.

Um die Ausleseeinheit 260 effektiv steuern zu können, wird das zweite digitale
5 Steuersignal 225 in einem zweiten Digital-Analog-Wandler 270 in ein zweites
analoges Signal 275 umgewandelt, das der Ausleseeinheit 260 zugeführt wird.
Durch die Überlagerung des Coriolissignals 231 und des zweiten analogen Signals
275 kann die Amplitude einer Schwingung des Drehratensensors entlang der
zweiten Richtung auf Null geregelt werden.

10 Der erste Digital-Analog-Wandler 240 wird mit einer Referenzspannung U_{RefD1} 241
betrieben. Der erste Analog-Digital-Wandler 250 wird mit einer Referenzspannung
 U_{RefA1} 251 betrieben und der zweite Digital-Analog-Wandler 270 wird mit einer
Referenzspannung U_{RefD2} 271 betrieben. Die Referenzspannungen U_{RefD1} 241,
15 U_{RefA1} 251, und U_{RefD2} 271 gehen in den Skalenfaktor ein, der das ausgelesene
zweite digitale Steuersignal 225 mit der an dem Drehratensensor anliegenden
Drehrate verbindet. Zudem kann der zweite Analog-Digital-Wandler 280 mit einer
Referenzspannung U_{RefA2} 281 betrieben werden.

20 In den Analog-Digital-/Digital-Analog-Wandlern werden die Referenzspannungen
genutzt, um ein eingehendes Signal durch Vergleich mit den Referenzspannungen
abzutasten und dadurch dessen Größe zu bestimmen.

Gemäß einer Ausführungsform sind zumindest zwei der Referenzspannungen
25 U_{RefD1} 241, U_{RefA1} 251 und U_{RefD2} 271 voneinander abhängig. Dadurch wird
gewährleistet, dass Alterungseffekte der Referenzspannungen U_{RefD1} 241, U_{RefA1}
251 und U_{RefD2} 271 sich im Skalenfaktor des Drehratensensors kompensieren und
somit Skalenfaktorfehler, die durch Alterungseffekte bedingt sind, minimiert
werden. Dadurch wird durch Einsatz der Steuervorrichtung 200 die Genauigkeit
30 und Verlässlichkeit des mit der Steuervorrichtung 200 betriebenen
Drehratensensors erhöht.

Fig. 3 zeigt ein schematisches Blockdiagramm einer Steuervorrichtung 300 zum
Steuern eines Drehratensensors. Der Aufbau der Steuervorrichtung 300
35 entspricht im Wesentlichen dem Aufbau der in Fig. 2 gezeigten Steuervorrichtung
200. Deshalb wird bezüglich des genauen Aufbaus der Steuervorrichtung 300 auf
die Beschreibung der in Fig. 2 gezeigten Steuervorrichtung 200 verwiesen. Zudem
sei darauf hingewiesen, dass in der Fig. 3 und auch in den weiter unten
beschriebenen Fig. 4, 5 und 6 die Referenzspannung U_{RefA2} 281 des zweiten

Analog-Digital-Wandlers 280 nicht dargestellt ist, da dies zur weiteren Diskussion der Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Steuervorrichtungen nicht nötig ist.

- 5 Die Steuervorrichtung 300 unterscheidet sich von der Steuervorrichtung 200 dadurch, dass die Referenzspannungen U_{RefA1} und U_{RefD2} des ersten Analog-Digital-Wandlers 250 und des zweiten Digital-Analog-Wandlers 270 zueinander direkt proportional sind. Dies wird in Fig. 3 durch die gemeinsame Spannungsquelle 352 dargestellt, von der sich die Referenzspannungen des ersten
- 10 Analog-Digital-Wandlers 250 und des zweiten Digital-Analog-Wandlers 270 herleiten.

- Dadurch wird gewährleistet, dass sich bei einer Änderung der Referenzspannung U_{RefA1} des ersten Analog-Digital-Wandlers 250 die Referenzspannung U_{RefD2} des
- 15 zweiten Digital-Analog-Wandlers 270 gleichläufig mit der Referenzspannung U_{RefA1} ändert. Dies kann zum Beispiel durch die in Fig. 3 gezeigte gemeinsame Spannungsquelle 352 erreicht werden, von der sich die Referenzspannungen U_{RefA1} und U_{RefD2} herleiten. Die Referenzspannungen U_{RefA1} und U_{RefD2} können dabei direkt der Spannung der gemeinsamen Spannungsquelle 352 entsprechen, sie
- 20 können aber auch durch Skalierung aus der Spannung der gemeinsamen Spannungsquelle 352 erzeugt werden. Dann ist das Verhältnis der Referenzspannungen U_{RefA1} und U_{RefD2} ein zeitlich konstanter Wert.

- Alternativ kann auch durch Messungen der Referenzspannungen über eine
- 25 vorbestimmte Zeitspanne, z.B. beim Hersteller, festgestellt werden, ob eine Referenzspannung eines Digital-Analog-Wandler- oder eines Analog-Digital-Wandler-Bauteils, das ohne Modifikation in der Steuervorrichtung 300 verwendet werden soll, sich im Laufe der Zeit vergrößert oder verkleinert. Dann können als
- erster Analog-Digital-Wandler 250 und als zweiter Digital-Analog-Wandler 270
- 30 solche Bauteile verwendet werden, deren Referenzspannungen sich gleichläufig ändern. Dies hat den Vorteil, dass eine bestehende Schaltung nicht verändert werden muss, sondern nur Bauteile ausgewählt werden müssen, deren Alterungscharakteristik gleichläufig ist.

- 35 Durch die in Fig. 3 gezeigte Steuervorrichtung 300 lässt sich die Abhängigkeit des Skalenfaktors von der Alterung der Referenzspannungen auf die zweite Potenz reduzieren.

Fig. 4 zeigt eine Steuervorrichtung 400 zum Steuern eines Drehratensensors gemäß einer weiteren Ausführungsform. Die Steuervorrichtung 400 weist im Wesentlichen den gleichen Aufbau wie die Steuervorrichtung 200 aus Fig. 2 auf. Deshalb wird auf eine detaillierte Beschreibung des Aufbaus der Steuervorrichtung 400 verzichtet und auf die Beschreibung der Steuervorrichtung 200 verwiesen.

Die Steuervorrichtung 400 unterscheidet sich von der Steuervorrichtung 200 darin, dass die Referenzspannung U_{RefA1} des ersten Analog-Digital-Wandlers 250 zur Referenzspannung U_{RefD1} des ersten Digital-Analog-Wandlers 240 direkt proportional ist. Dies ist in Fig. 4 durch eine gemeinsame Spannungsquelle 452 dargestellt, von der sich die Referenzspannungen U_{RefA1} und U_{RefD1} des ersten Analog-Digital-Wandlers 250 und des ersten Digital-Analog-Wandlers 240 herleiten.

Dadurch wird gewährleistet, dass sich bei einer Änderung der Referenzspannung U_{RefA1} des ersten Analog-Digital-Wandlers 250 die Referenzspannung U_{RefD1} des ersten Digital-Analog-Wandlers 240 gleichläufig mit der Referenzspannung U_{RefA1} ändert. Dies kann zum Beispiel durch die in Fig. 4 gezeigte gemeinsame Spannungsquelle 452 erreicht werden, von der sich die Referenzspannungen U_{RefA1} und U_{RefD1} herleiten. Die Referenzspannungen U_{RefA1} und U_{RefD1} können dabei direkt der Spannung der gemeinsamen Spannungsquelle 452 entsprechen, sie können aber auch durch Skalierung aus der Spannung der gemeinsamen Spannungsquelle 452 erzeugt werden. Dann ist das Verhältnis der Referenzspannungen U_{RefA1} und U_{RefD1} ein zeitlich konstanter Wert.

Alternativ kann auch durch Messungen der Referenzspannungen über eine vorbestimmte Zeitspanne, z.B. beim Hersteller, festgestellt werden, ob eine Referenzspannung eines Digital-Analog-Wandler- oder eines Analog-Digital-Wandler-Bauteils, das ohne Modifikation in der Steuervorrichtung 400 verwendet werden soll, sich im Laufe der Zeit vergrößert oder verkleinert. Dann können als erster Analog-Digital-Wandler 250 und als erster Digital-Analog-Wandler 240 solche Bauteile verwendet werden, deren Referenzspannungen sich gleichläufig ändern. Dies hat den Vorteil, dass eine bestehende Schaltung nicht verändert werden muss, sondern nur Bauteile ausgewählt werden müssen, deren Alterungscharakteristik gleichläufig ist.

Durch die in Fig. 4 gezeigte Steuervorrichtung 400 lässt sich die Abhängigkeit des Skalenfaktors von der Alterung der Referenzspannungen auf die zweite Potenz reduzieren.

5 Fig. 5 zeigt ein schematisches Blockdiagramm einer Steuervorrichtung 500 zum Steuern eines Drehratensensors gemäß einer weiteren Ausführungsform. Der Aufbau der Steuervorrichtung 500 entspricht im Wesentlichen dem Aufbau der in Fig. 2 gezeigten Steuervorrichtung 200. Deshalb wird hier auf eine detaillierte Beschreibung der Steuervorrichtung 500 verzichtet und auf die Beschreibung der
10 Steuervorrichtung 200 verwiesen.

Die Steuervorrichtung 500 unterscheidet sich von der Steuervorrichtung 200 dadurch, dass die Referenzspannung U_{RefD1} des ersten Digital-Analog-Wandlers 240 invers proportional (d.h. reziprok) zur Referenzspannung U_{RefD2} des zweiten
15 Digital-Analog-Wandlers 270 ist. Dies ist in Fig. 5 durch das Reziprozitätsglied 542 dargestellt.

Dadurch wird gewährleistet, dass sich bei einer Änderung der Referenzspannung U_{RefD1} des ersten Digital-Analog-Wandlers 240 die Referenzspannung U_{RefD2} des
20 zweiten Digital-Analog-Wandlers 270 gegenläufig zu der Referenzspannung U_{RefD1} ändert. Dies kann zum Beispiel durch das in Fig. 5 gezeigte Reziprozitätsglied 542 erreicht werden, das entweder einen zur Referenzspannung U_{RefD1} des ersten Digital-Analog-Wandlers 240 reziproken Wert ausgibt (d.h. die Referenzspannung U_{RefD1} invertiert) und als Referenzspannung U_{RefD2} an den zweiten Digital-Analog-
25 Wandler 270 weitergibt, oder das einen zur Referenzspannung U_{RefD2} des zweiten Digital-Analog-Wandlers 270 reziproken Wert ausgibt und als Referenzspannung U_{RefD1} an den ersten Digital-Analog-Wandler 240 weitergibt. Zudem können die Referenzspannungen U_{RefD1} und U_{RefD2} vor und/oder nach dem Invertieren skaliert werden. Das Produkt der Referenzspannungen U_{RefD1} und U_{RefD2} ist dann ein
30 zeitlich konstanter Wert.

Alternativ kann aber auch durch Messungen der Referenzspannungen über eine vorbestimmte Zeitspanne, z.B. beim Hersteller, festgestellt werden, ob eine Referenzspannung eines der Digital-Analog-Wandler-Bauteile, das ohne
35 Modifikation in der Steuervorrichtung 500 verwendet werden soll, sich im Laufe der Zeit vergrößert oder verkleinert. Dann können als erster Digital-Analog-Wandler 240 und als zweiter Digital-Analog-Wandler 270 solche Bauteile verwendet werden, deren Referenzspannungen sich gegenläufig ändern. Dies hat den Vorteil, dass eine bestehende Schaltung nicht verändert werden muss,

sondern nur Bauteile ausgewählt werden müssen, deren Alterungscharakteristik gegenläufig ist.

5 Durch die in Fig. 5 gezeigte Steuervorrichtung 500 lässt sich die Abhängigkeit des Skalenfaktors von der Alterung der Referenzspannungen auf die zweite Potenz reduzieren.

Fig. 6 stellt ein schematisches Blockdiagramm einer Steuervorrichtung 600 zum Steuern eines Drehratensensors gemäß einer weiteren Ausführungsform dar. Der Aufbau der Steuervorrichtung 600 entspricht im Wesentlichen dem Aufbau der Steuervorrichtung 200. Auf eine detaillierte Beschreibung der Steuervorrichtung 600 wird deshalb hier verzichtet und auf die Beschreibung der Steuervorrichtung 200 verwiesen.

15 Die Steuervorrichtung 600 unterscheidet sich von der Steuervorrichtung 200 darin, dass die Referenzspannung U_{RefD1} des ersten Digital-Analog-Wandlers 240 direkt proportional zur Referenzspannung U_{RefD2} des zweiten Digital-Analog-Wandlers ist und die Referenzspannung U_{RefA1} des ersten Analog-Digital-Wandlers 250 direkt proportional zur dritten Potenz der Referenzspannung U_{RefD1} des ersten Digital-Analog-Wandlers 240 ist. Dies ist in Fig. 6 durch eine gemeinsame Spannungsquelle 652 und ein Potenzglied 657 dargestellt.

Dadurch wird zum einen gewährleistet, dass sich bei einer Änderung der Referenzspannung U_{RefD1} des ersten Digital-Analog-Wandlers 240 die Referenzspannung U_{RefD2} des zweiten Digital-Analog-Wandlers 270 gleichläufig mit der Referenzspannung U_{RefD1} ändert. Dies kann zum Beispiel durch die in Fig. 6 gezeigte gemeinsame Spannungsquelle 652 erreicht werden, von der sich die Referenzspannungen U_{RefD1} und U_{RefD2} herleiten. Die Referenzspannungen U_{RefD1} und U_{RefD2} können dabei direkt der Spannung der gemeinsamen Spannungsquelle 652 entsprechen, sie können aber auch durch Skalierung aus der Spannung der gemeinsamen Spannungsquelle 652 erzeugt werden. Dann ist das Verhältnis der Referenzspannungen U_{RefD1} und U_{RefD2} ein zeitlich konstanter Wert.

Alternativ kann aber auch durch Messungen der Referenzspannungen über eine vorbestimmte Zeitspanne, z.B. beim Hersteller, festgestellt werden, ob eine Referenzspannung eines der Digital-Analog-Wandler-Bauteile, das ohne Modifikation in der Steuervorrichtung 600 verwendet werden soll, sich im Laufe der Zeit vergrößert oder verkleinert. Dann können als erster Digital-Analog-Wandler 240 und als zweiter Digital-Analog-Wandler 270 solche Bauteile

verwendet werden, deren Referenzspannungen sich gleichläufig ändern. Dies hat den Vorteil, dass eine bestehende Schaltung nicht verändert werden muss, sondern nur Bauteile ausgewählt werden müssen, deren Alterungscharakteristik gleichläufig ist.

5

Gleichzeitig wird gewährleistet, dass sich bei Änderung der Referenzspannung U_{RefA1} des ersten Analog-Digital-Wandlers 250 um den Betrag Δ bei kleinem Δ die Referenzspannung U_{RefD1} des ersten Digital-Analog-Wandlers 240 um einen zu 3Δ proportionalen Betrag ändert. Dies kann durch Verbinden des Eingangs des

10 Potenzierglieds 657 mit der gemeinsamen Spannungsquelle 652 erreicht werden, wenn das Verhältnis von U_{RefD1} zu U_{RefD2} zeitlich konstant ist. Alternativ wird der Eingang des Potenzierglied 657 mit einer der Referenzspannungen U_{RefD1} , U_{RefD2} verbunden, die sich, wie auf Grund von Messungen bestimmt wurde, gleichläufig ändern.

15

Durch die in Fig. 6 gezeigte Steuervorrichtung 600 lässt sich die Abhängigkeit des Skalenfaktors von der Alterung der Referenzspannungen auf die zweite Potenz reduzieren oder gänzlich eliminieren.

20

Gemäß weiterer, nicht dargestellter Ausführungsformen können die in den Fig. 2 bis 6 dargestellten Steuervorrichtungen miteinander kombiniert werden, um die Abhängigkeit des Skalenfaktors von der Alterung der Referenzspannungen noch weiter zu unterdrücken, sofern sich die gezeigten Ausführungsformen nicht gegenseitig ausschließen.

25

Fig. 7 stellt ein schematisches Flussdiagramm eines Verfahrens zum Steuern eines Drehratensensors gemäß einer Ausführungsform dar.

30

In S700 wird in einem ersten Regelkreis mit einem ersten Digital-Analog-Wandler mittels einer Referenzspannung ein erstes digitales Steuersignal in ein erstes analoges Signal umgewandelt.

35

In S710 wird in dem ersten Regelkreis mit einem ersten Analog-Digital-Wandler mittels einer Referenzspannung ein erstes analoges Messsignal in ein erstes digitales Auslesesignal umgewandelt.

In S720 wird in einem zweiten Regelkreis mit einem zweiten Digital-Analog-Wandler mittels einer Referenzspannung ein zweites digitales Steuersignal in ein zweites analoges Signal umgewandelt.

In S730 werden wenigstens zwei der Referenzspannungen des ersten Digital-Analog-Wandlers, des zweiten Digital-Analog-Wandlers und des ersten Analog-Digital-Wandlers derart eingestellt, dass sie voneinander abhängig sind.

5

Dadurch wird gewährleistet, dass sich Alterungseffekte der Referenzspannungen, die in den Skalenfaktor des Drehratensensors eingehen, derart kompensieren, dass Skalenfaktorfehler minimiert werden. Dadurch wird der Drehratensensor genauer und verlässlicher.

10

Gemäß weiterer Ausführungsformen können die Referenzspannungen des ersten Digital-Analog-Wandlers, des zweiten Digital-Analog-Wandlers und des ersten Analog-Digital-Wandlers gemäß einer der mit Bezug auf die Fig. 3 bis 6 diskutierten Ausführungsform einer Steuervorrichtung eingestellt werden.

15

Dadurch kann die Abhängigkeit des Skalenfaktors von Alterungseffekten der Referenzspannungen auf eine quadratische Abhängigkeit gesenkt oder ganz eliminiert werden.

Patentansprüche

1. Steuervorrichtung (200) zum Steuern eines Drehratensensors mit
- einem ersten Regelkreis (202) mit

 einer ersten Reglereinheit (210) zum Steuern einer Schwingung des
Drehratensensors entlang einer ersten Richtung,

5 einem ersten Digital-Analog-Wandler (240) zum Umwandeln eines
von der ersten Reglereinheit (210) ausgegebenen ersten digitalen Steuersignals
(215) in ein erstes analoges Signal (245), mit dem die Schwingung des
Drehratensensors entlang der ersten Richtung gesteuert wird und

 einem ersten Analog-Digital-Wandler (250) zum Umwandeln eines
10 ersten analogen Messsignals (235), das die Schwingung des Drehratensensors
entlang der ersten Richtung beschreibt, in ein erstes digitales Auslesesignal (255),
das der ersten Reglereinheit (210) zugeführt wird; und mit

- einem zweiten Regelkreis (204) mit

 einer zweiten Reglereinheit (220) zum Steuern einer Schwingung des
15 Drehratensensors entlang einer von der ersten Richtung verschiedenen zweiten
Richtung und

 einem zweiten Digital-Analog-Wandler (270) zum Umwandeln eines
von der zweiten Reglereinheit ausgegebenen zweiten digitalen Steuersignals (225)
in ein zweites analoges Signal (275), mit dem die Schwingung des
20 Drehratensensors entlang der zweiten Richtung gesteuert wird; wobei

 der erste Digital-Analog-Wandler (240), der zweite Digital-Analog-Wandler
(270) und der erste Analog-Digital-Wandler (250) beim Umwandeln mit je einer
Referenzspannung (241, 251, 271) arbeiten;

 dadurch gekennzeichnet, dass

25 wenigstens zwei der Referenzspannungen (241, 251, 271) des ersten
Digital-Analog-Wandlers (240), des zweiten Digital-Analog-Wandlers (270) und des
ersten Analog-Digital-Wandlers (250) voneinander abhängig sind.

2. Steuervorrichtung (300) nach Anspruch 1, wobei die Referenzspannung
30 (251) des ersten Analog-Digital-Wandlers (250) zur Referenzspannung (271) des
zweiten Digital-Analog-Wandlers (270) direkt proportional ist.

3. Steuervorrichtung (400) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die
Referenzspannung (251) des ersten Analog-Digital-Wandlers (250) zur
35 Referenzspannung (241) des ersten Digital-Analog-Wandlers (240) direkt
proportional ist.

4. Steuervorrichtung (600) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Referenzspannung (241) des ersten Digital-Analog-Wandlers (240) direkt proportional zur Referenzspannung (271) des zweiten Digital-Analog-Wandlers (270) ist und die Referenzspannung (251) des ersten Analog-Digital-Wandlers (250) direkt proportional zur dritten Potenz der Referenzspannung (241) des ersten Digital-Analog-Wandlers (240) ist.

5. Steuervorrichtung (500) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Referenzspannung (241) des ersten Digital-Analog-Wandlers (240) invers proportional zur Referenzspannung (271) des zweiten Digital-Analog-Wandlers (270) ist.

6. Steuervorrichtung (500) nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 5, wobei sich die Referenzspannung (241) des ersten Digital-Analog-Wandlers (240) bei Alterung gegenläufig zur Referenzspannung (271) des zweiten Digital-Analog-Wandlers (270) ändert.

7. Steuervorrichtung (200) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der zweite Regelkreis (204) einen zweiten Analog-Digital-Wandler (280) zum Umwandeln eines zweiten analogen Messsignals (265), das die Schwingung des Drehratensensors entlang der zweiten Richtung beschreibt, in ein zweites digitales Auslesesignal (285), das der zweiten Reglereinheit (220) zugeführt wird, aufweist.

8. Steuervorrichtung (200) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei eine Drehung des Drehratensensors um eine zur ersten Richtung und zur zweiten Richtung senkrecht stehende Normale die Schwingung des Drehratensensors entlang der zweiten Richtung auslöst.

9. Steuervorrichtung (200) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Drehratensensor ein mikroelektromechanischer (MEMS) Kreisel ist.

10. Verfahren zum Steuern eines Drehratensensors mit den Schritten:

- in einem ersten Regelkreis (202)

mit einem ersten Digital-Analog-Wandler (240) Umwandeln eines von einer ersten Reglereinheit (210) zum Steuern einer Schwingung des Drehratensensors entlang einer ersten Richtung ausgegebenen ersten digitalen Steuersignals (215) in ein erstes analoges Signal (245), mit dem die Schwingung des Drehratensensors entlang der ersten Richtung gesteuert wird, und

mit einem ersten Analog-Digital-Wandler (250) Umwandeln eines ersten analogen Messsignals (235), das die Schwingung des Drehratensensors entlang der ersten Richtung beschreibt, in ein erstes digitales Auslesesignal (255), das der ersten Reglereinheit (210) zugeführt wird;

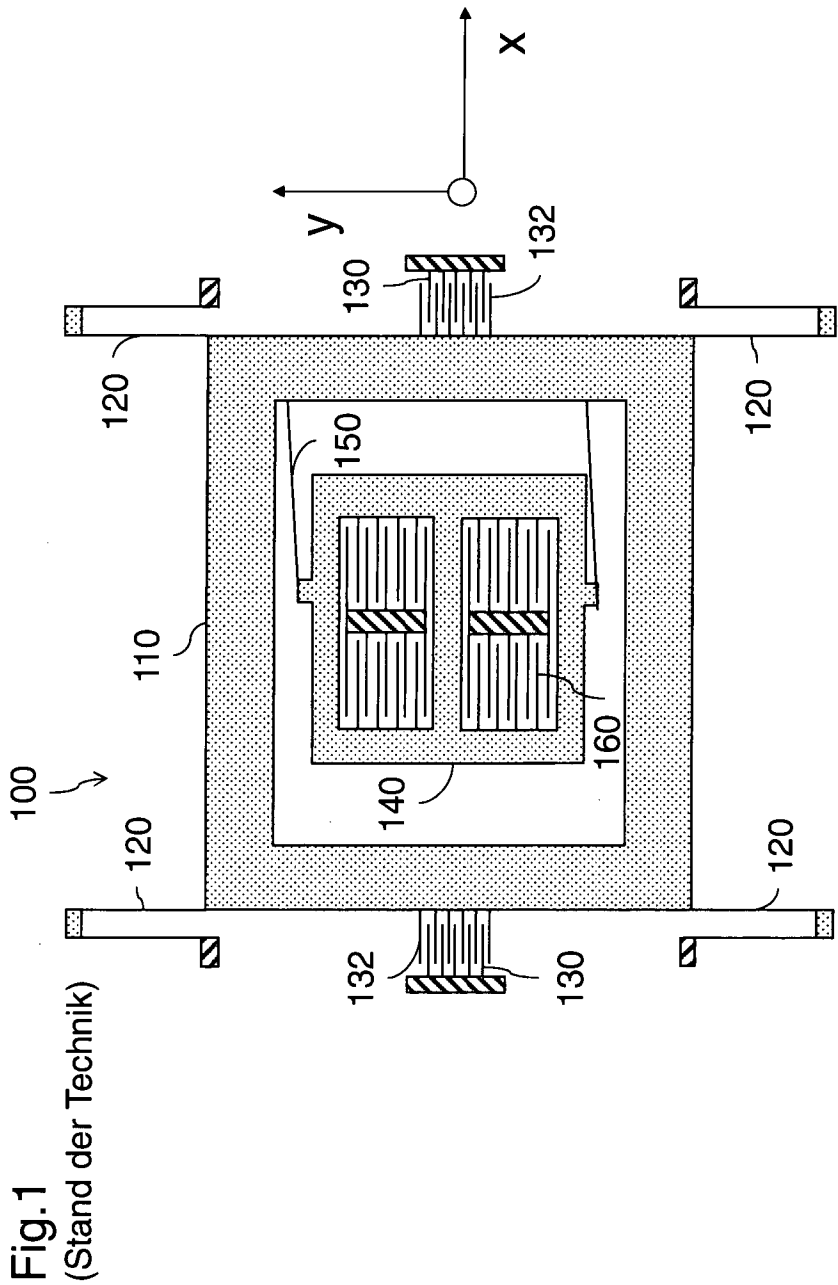
5 - in einem zweiten Regelkreis (204)

mit einem zweiten Digital-Analog-Wandler (270) Umwandeln eines von einer zweiten Reglereinheit (220) zum Steuern einer Schwingung des Drehratensensors entlang einer von der ersten Richtung verschiedenen zweiten Richtung ausgegebenen zweiten digitalen Steuersignals (225) in ein zweites
10 analoges Signal (275), mit dem die Schwingung des Drehratensensors entlang der zweiten Richtung gesteuert wird, wobei

der erste Digital-Analog-Wandler (240), der zweite Digital-Analog-Wandler (270) und der erste Analog-Digital-Wandler (250) beim Umwandeln mit je einer Referenzspannung (241, 251, 271) arbeiten;

15 gekennzeichnet durch

Einstellen von wenigstens zwei der Referenzspannungen (241, 251, 271) des ersten Digital-Analog-Wandlers (241), des zweiten Digital-Analog-Wandlers (270) und des ersten Analog-Digital-Wandlers (250) derart, dass sie voneinander abhängig sind.



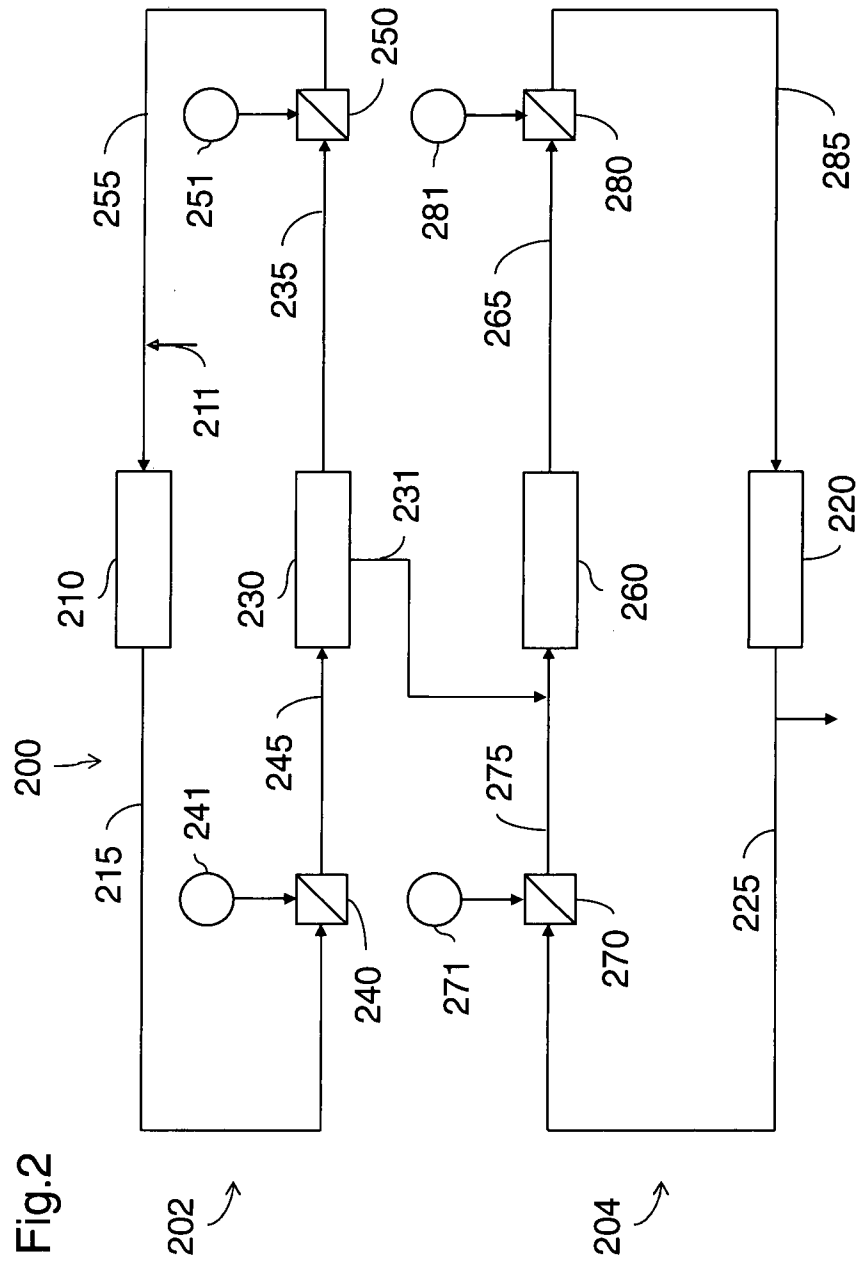
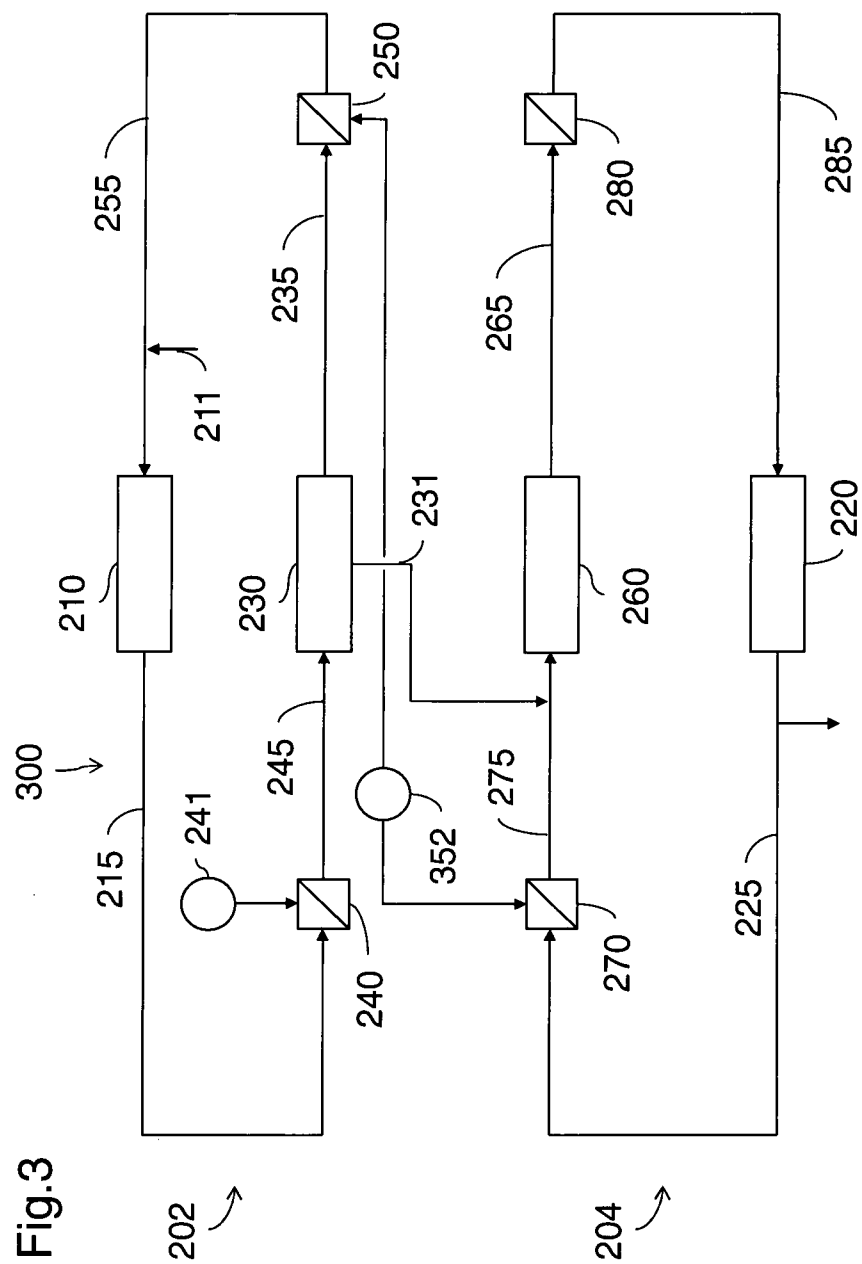
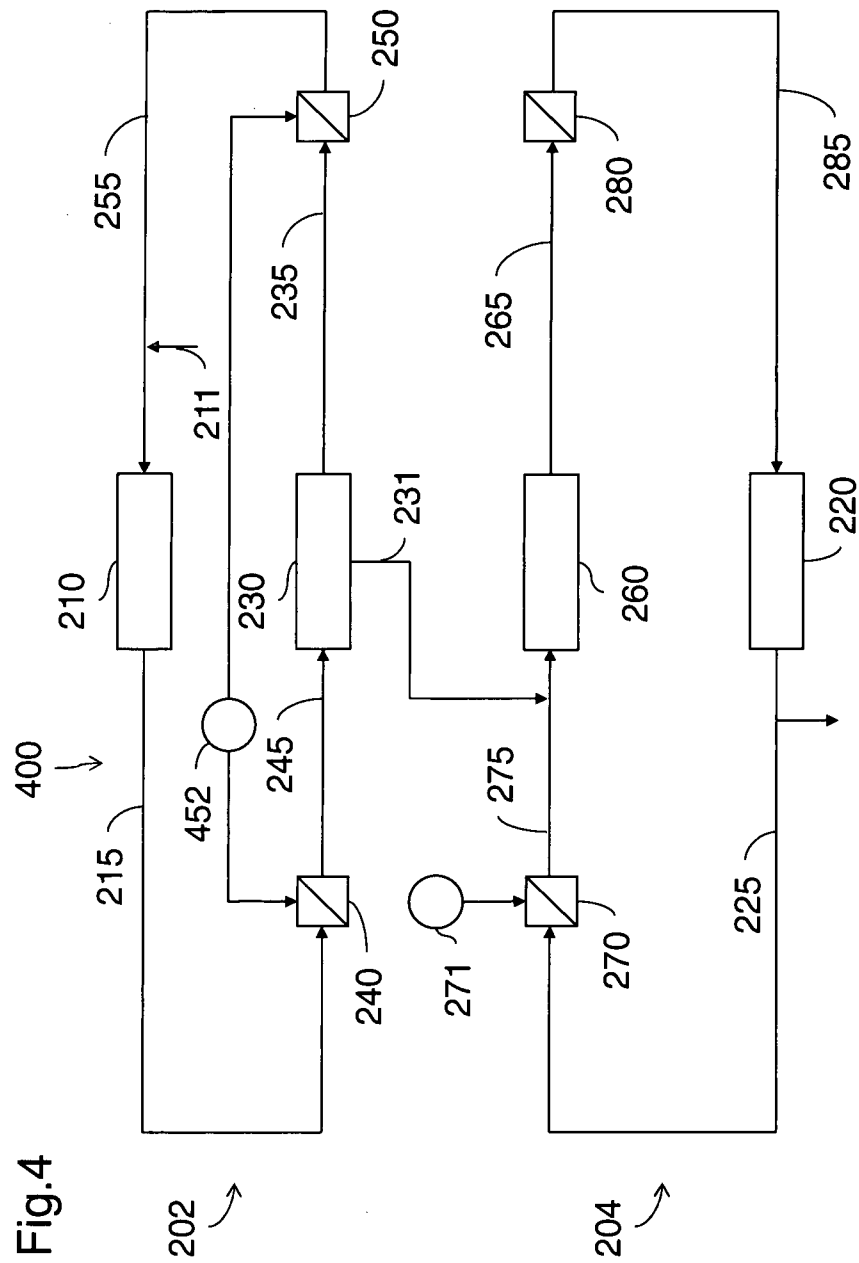
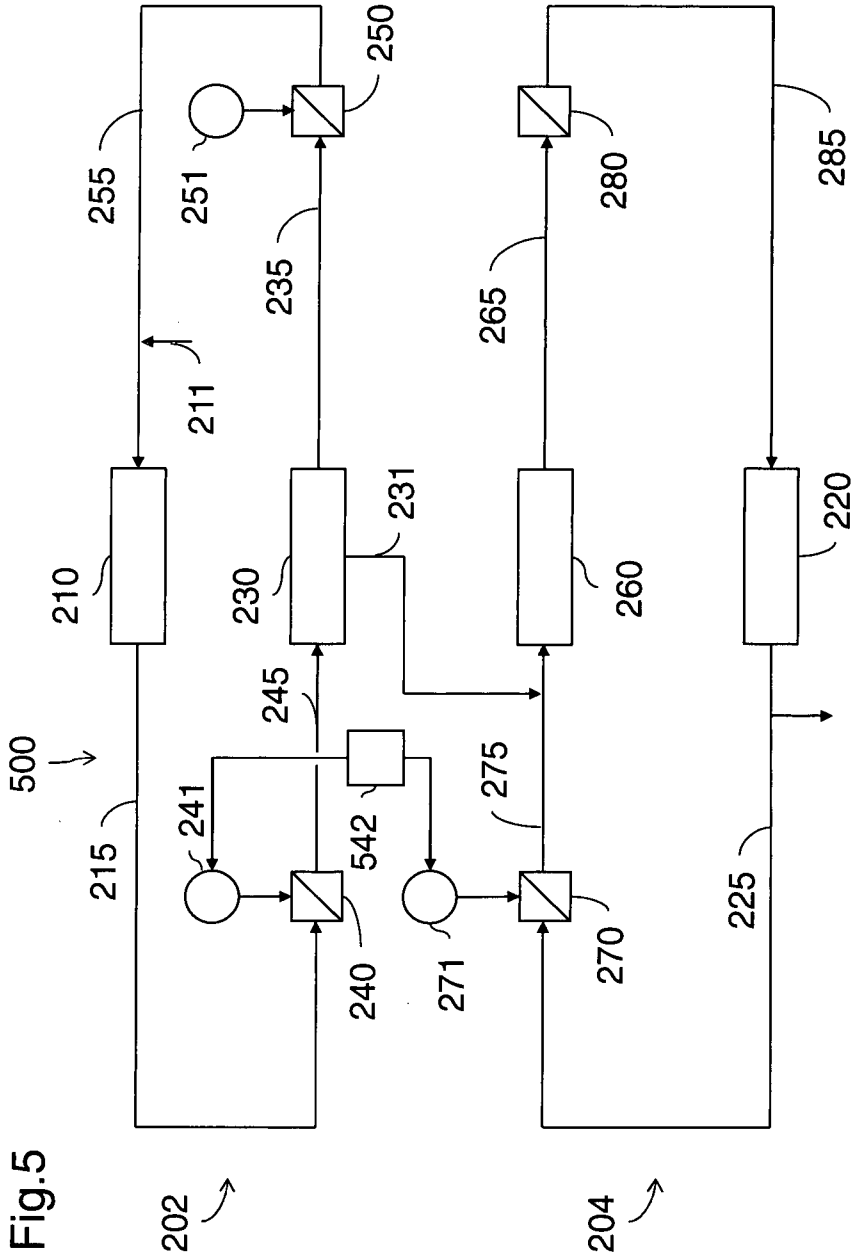


Fig. 3







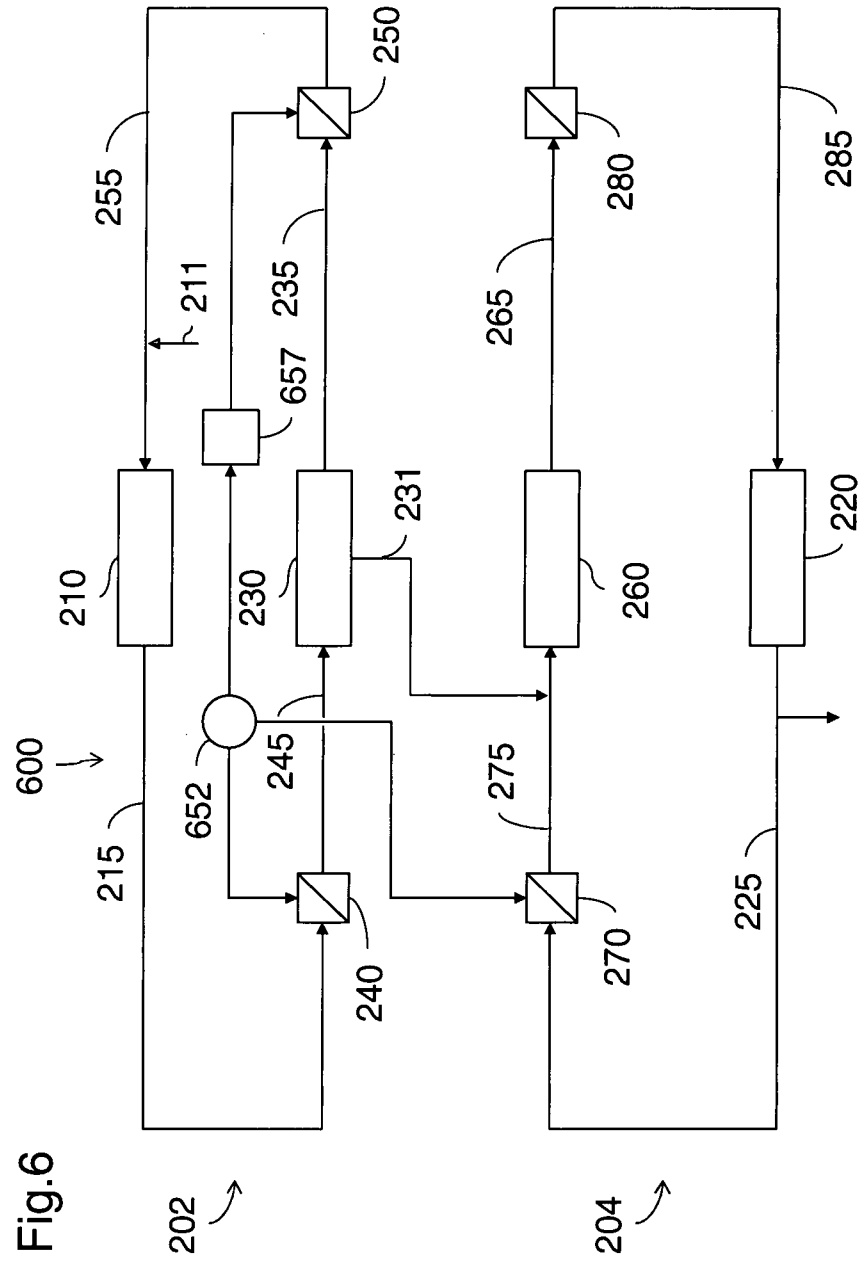
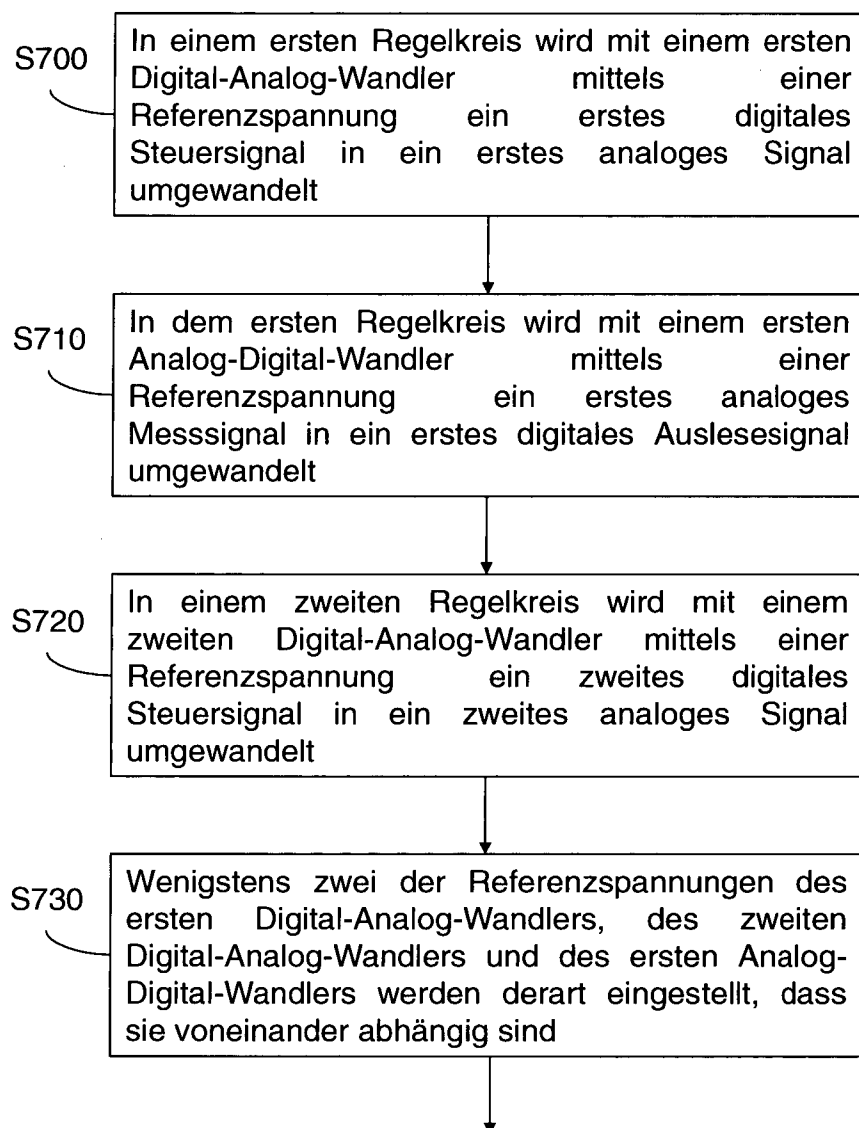


Fig.7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/000816

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H03M1/00 G01C19/5726
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)
H03M H03F G01C

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	DE 693 12 011 T2 (LITTON SYSTEMS INC [US]) 15 January 1998 (1998-01-15) page 17, lines 27-29; figure 1C page 7, line 5	1,6-10
A	----- US 2009/212983 A1 (FUKUZAWA AKIHIRO [JP] ET AL) 27 August 2009 (2009-08-27) paragraphs [0134] - [0137], [0144] - [0147], [0152] -----	1



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

17 August 2015

Date of mailing of the international search report

28/08/2015

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

de la Rosa Rivera, E

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/000816

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
DE 69312011	T2	15-01-1998	DE	69312011 D1		14-08-1997
			DE	69312011 T2		15-01-1998
			EP	0593166 A1		20-04-1994
			JP	H0816614 B2		21-02-1996
			JP	H06294657 A		21-10-1994
			US	5337143 A		09-08-1994

US 2009212983	A1	27-08-2009	JP	4492713 B2		30-06-2010
			JP	2009200829 A		03-09-2009
			US	2009212983 A1		27-08-2009

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H03M1/00 G01C19/5726
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H03M H03F G01C

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 693 12 011 T2 (LITTON SYSTEMS INC [US]) 15. Januar 1998 (1998-01-15) Seite 17, Zeilen 27-29; Abbildung 1C Seite 7, Zeile 5 -----	1,6-10
A	US 2009/212983 A1 (FUKUZAWA AKIHIRO [JP] ET AL) 27. August 2009 (2009-08-27) Absätze [0134] - [0137], [0144] - [0147], [0152] -----	1



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

17. August 2015

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

28/08/2015

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

de la Rosa Rivera, E

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/000816

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 69312011 T2	15-01-1998	DE 69312011 D1	14-08-1997
		DE 69312011 T2	15-01-1998
		EP 0593166 A1	20-04-1994
		JP H0816614 B2	21-02-1996
		JP H06294657 A	21-10-1994
		US 5337143 A	09-08-1994

US 2009212983 A1	27-08-2009	JP 4492713 B2	30-06-2010
		JP 2009200829 A	03-09-2009
		US 2009212983 A1	27-08-2009
