(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 193 077 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
26.06.2013 Patentblatt 2013/26

(21) Anmeldenummer: **08837861.7**

(22) Anmeldetag: **26.09.2008**

(51) Int Cl.:
B63H 25/24 *(2006.01)*

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2008/062897

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2009/047134 (16.04.2009 Gazette 2009/16)

(54) LENKEINHEIT FÜR EIN STEER-BY-WIRE SCHIFFSTEUERSYSTEM UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN DER LENKEINHEIT

STEERING UNIT FOR A STEER-BY-WIRE SHIP'S CONTROL SYSTEM AND METHOD FOR OPERATING THE STEERING UNIT

UNITE DE DIRECTION POUR UN SYSTEME DE PILOTAGE DE NAVIRE STEER-BY-WIRE (PILOTAGE PAR CABLE) ET PROCEDE DE FONCTIONNEMENT DE L'UNITE DE DIRECTION

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT RO SE SI SK TR

(30) Priorität: **05.10.2007 DE 102007048077**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
09.06.2010 Patentblatt 2010/23

(73) Patentinhaber: **ZF Friedrichshafen AG**
88038 Friedrichshafen (DE)

(72) Erfinder: **ZANFEI, Adriano**
I-38057 Madrano (IT)

(74) Vertreter: **Paul, Andreas**
ZF Friedrichshafen AG
Corporate Intellectual Property (TS)
D-88038 Friedrichshafen (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 102 579
EP-A- 1 792 802
DE-A1- 3 130 518
DE-C- 569 396
US-A- 4 225 148
US-A1- 2006 042 532
US-A1- 2007 068 438

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 193 077 B1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Betreiben eines Steer-by-wire Schiffsteuersystems gemäß dem Oberbegriff der unabhängigen Patentansprüche 1 und 3. Ein solches Verfahren ist aus der US 2007/006 8438 A1 bekannt, die als nächstliegender Stand der Technik angesehen wird

[0002] Aus dem Stand der Technik sind Steer-by-wire Systeme bekannt, die auch in der Schiffsteuertechnik eingesetzt werden. Bei derartigen Systemen werden die Ober eine Lenkeinheit eingegebene Lenkbefehle von einem Sensor erfasst und Ober eine Steuereinheit an einen Aktuator weitergeleitet, welcher den Lenkbefehl ausführt. In vorteilhafter Weise besteht keine mechanische Verbindung zwischen dem Steuerruder und dem Ruder bzw. für den Fall eines Kraftfahrzeugs zwischen dem Lenkrad und den gelenkten Rädern.

[0003] In der Schiffsteuertechnik sind die mit dem Steuerruder verbundenen Lenkeinheiten üblicherweise hydraulisch betätigbar, was in nachteiliger Weise in einer schlechten Dynamik sowie in hohen Wartungskosten resultiert.

[0004] Ein Steer-by-wire Schiffsteuersytem ist beispielsweise aus der US 6,431,928 B1 bekannt. Bei dem bekannten System ist ein elektrischer Motor zum Drehen der gesamten Propeller-Antriebseinheit über eine mechanische Energieübertragungskette vorgesehen, wobei der elektrische Motor von einer Steuereinheit gesteuert wird, welche zum Einen mit der Lenkeinrichtung zum Erhalten einer Lenkbefehlsinformation und zum Anderen mit einem die Lenkstellungsinformation erfassenden Sensor verbunden ist.

[0005] Aus der US 7,137,347B2 ist eine Lenkeinheit für ein Steer-by-wire Schiffsteuersystem bekannt, welche eine mechanisch drehbare lenkeinrichtung, beispielsweise ein Steuerruder, einen Sensor zum Erfassen der Drehbewegung des Steuerruders und einen Stop-Mechanismus zum Blockieren einer weiteren Drehbewegung des Steuerruders nach Steuerbord oder Backbord, wenn das Ruder des Schiffs eine extreme Steuerbord- bzw. Backbord - Position erreicht hat.

[0006] Aus der EP 1770008 A2 ist ein Steer-by-wire Schiffsteuersystem bekannt, welches mindestens zwei Lenkeinheiten umfasst Hierbei wird das Ruder mittels eines hydraulisch betätigbaren Aktuators anhand der Lenksignale betätigt, die vom derjenigen Lenkeinheit generiert werden, welche die schnellere Bewegung des Ruders fordert. Bei dem bekannten System umfassen die Lenkeinheiten jeweils ein Steuerruder, das mit jeweils einer Steuereinrichtung verbunden ist, die wiederum mit dem Steuemetzwerk verbunden ist.

[0007] Des Weiteren ist vorgesehen, dass die Lenkeinrichtungen im Falle einer Betätigung bzw. Drehung des Steuerruders in Abhängigkeit von Signalen eines Sensors zur Erfassung der Ruderposition mittels einer Kupplung einen mechanischen Widerstand erzeugen, wobei der Widerstand um so größer ist, je näher sich das Ruder an eine Endposition nähert. Wenn eine Endposition erreicht ist, ist der mechanische Widerstand am Steuerruder derart eingestellt, dass eine weitere Drehbewegung desselben in die gleiche Richtung nicht möglich ist. Dies wird durch eine Kupplung ermöglicht, welche im vollständig geschlossenen Zustand keine Drehbewegung des Steuerruders ermöglicht.

[0008] Des Weiteren ist aus der US 6,843195 B2 ein Steuersystem für einen Außenbordmotor bekannt, bei dem der Quotient,, realisierter Lankwinkel/über das Steuerruder eingegebener Lenkwinkel" mit steigender Geschwindigkeit abnimmt.

[0009] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betreiben einer Lenkeinheit für ein Steer-by-wire Schiffsteuersystem anzugeben werden, welches die Sicherheit und den Komfort erhöht.

[0010] Diese Aufgabe wird für eine Lenkeinheit durch die Merkmale der unabhängigen Patentansprüche 1 und 3 gelöst. Weitere erfindungsgemäße Ausgestaltungen und Vorteile gehen aus den entsprechenden Unteransprochen hervor.

[0011] Demnach wird eine Lenkeinheit für ein Steer-by-wire Schiffsteuersystem vorgeschlagen, welche ein Steuerruder, eine Steuerung und eine Einrichtung zum Erzeugen eines mechanischen Widerstandes am Steuerruder umfasst, wobei die Einrichtung zum Erzeugen eines mechanischen Widerstandes am Steuerruder als Elektromotor ausgeführt ist. Hierbei ist die mit dem Steuerruder drehfest verbundene Welle des Steuerruders drehfest mit dem Rotor des Elektromotors und der Stator des Elektromotors drehfest mit dem Gehäuse des Elektromotors verbunden. Gemäß der Erfindung kann der Elektromotor auch verwendet werden, um das Steuerruder auf eine definierte Position oder die Ausgangsposition zurückzustellen.

[0012] Des Weiteren ist im Rahmen einer besonders vorteilhaften Ausführungsform vorgesehen, dass die mit dem Steuerruder drehfest verbundene Welle durch den Rotor geführt ist, wobei vorzugsweise an dem dem Steuerruder abgewandten Ende der Welle zur Erfassung des Drehwinkels des Steuerruders ein Inkrementalgeber angeordnet ist. Zur Steuerung des Elektromotors und zur Übergabe des über die Lenkeinheit eingestellten Lenkwinkels ist eine mit dem Inkrementalgeber und dem Elektromotor verbundene Steuerung vorgesehen, welche über einen CAN Bus mit der elektronischen Steuerung des Schiffsteu ersystems ECU verbunden ist.

[0013] Vorzugsweise ist der Elektromotor als vektorgeregelter Motor ausgeführt und ermöglicht eine sinusförmige oder trapezförmige Signalumwandlung, wodurch Gleichstrom- oder Wechselstrommotoren eingesetzt werden können.

[0014] Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist der Elektromotor als vektorgeregelter bürstenloser Torque-Motor ausgeführt. Dies resultiert in einer kompakten Bauform, hohen Drehmomenten bei geringer Drehzahl, hoher Dynamik und minimalem Verdrehspiel. Gemäß der Erfindung ist der Tor-

que-Motor derart ausgelegt, dass er über den Drehzahlbereich ein konstantes Drehmoment erzeugt, wodurch die Notwendigkeit des Einbaus von Reduziergetrieben entfällt. Ein derartiger Motor kann in vorteilhafter Weise für die Dauer von 5 Sekunden um 100% überlastet werden; im Vergleich dazu kann ein Hydrauliksystem lediglich um 20% überlastet werden.

[0015] Die erfindungsgemäße Lenkeinheit sowie Verfahren zu deren Betreiben werden im Folgenden anhand der beigefügten Figuren beispielhaft näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1: Eine schematische Schnittansicht einer bevorzugten Ausführungsform einer Lenkeinheit gemäß der Erfindung;

Figur 2: Eine schematische Schnittansicht einer weiteren Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Lenkeinheit;

Figur 3: Eine schematische Schnittansicht einer dritten Ausführungsform einer Lenkeinheit gemäß der Erfindung;

Figur 4: Eine schematisches Ablaufdiagramm, welches den Initialisierungsprozess und das Testen der CAN-Funktionalität veranschaulicht;

Figur 5: Ein schematisches Ablaufdiagramm zur Veranschaulichung der unterschiedlichen Betriebsmodi der Lenkeinheit;

Figur 6: Ein Diagramm, welches den Verlauf einer der Phasen der Motorsteuerung als Funktion der Zeit sowie die Auflösung des Inkrementalgebers darstellt;

Figur 7: Ein Diagramm, das die aktuelle Phase des Motors und die invertierte Phase als Funktion der Zeit sowie die entsprechende Bewegung des Steuerruders darstellt; und

Figur 8: Ein schematisches Ablaufdiagramm der Motorsteuerung zur Erzeugung eines mechanischen Widerstands gegen die Lenkbewegung des Fahrers.

[0016] In Figur 1 ist eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Lenkeinheit 1 dargestellt. Sie umfasst ein mit einer Welle 2 drehfest verbundenes Steuerruder 3. Bei der gezeigten Ausführungsform ist die Welle mit dem Steuerruder über eine Schraubenmutter 4 verbunden.

[0017] Als Einrichtung zur Erzeugung eines mechanischen Widerstandes gegen die Lenkbewegung ist ein in einem Gehäuse 5 angeordneter Elektromotor 6 vorgesehen, dessen Rotor 7 bei dem gezeigten Beispiel als Hohlwelle ausgeführt ist, durch die die Welle 2 geführt ist, wobei die Welle 2 drehfest mit dem Rotor 7 verbunden ist. Die Verbindung zwischen Rotor 7 und Welle 2 kann beispielsweise durch Schweißen oder durch Formschluss erfolgen; es ist auch möglich, dass die Verbindung mittels eines geeigneten Profils, beispielsweise eines Keilprofils erzeugt wird. Das Gehäuse 5 des Elektromotors kann aus Aluminium, Stahl oder aus Gusseisen hergestellt sein.

[0018] Wie Figur 1 zu entnehmen, ist der Stator 8 des Elektromotors 6 drehfest mit dem Gehäuse 5 verbunden. Des Weiteren ist die Welle 2 mittels Lager gelagert, die vorzugsweise als Schrägkugellager 9 ausgeführt sind. Zur Erfassung des Drehwinkels des Steuerruders ist ein Sensor 10 vorgesehen, der vorzugsweise als Inkrementalgeber ausgeführt ist, um die Herstellungskosten gering zu halten. Alternativ zur Ausführung als Inkrementalgeber kann der Sensor als Absolutgeber ausgeführt sein.

[0019] Bei der in Figur 1 gezeigten Ausführungsform ist der Sensor 10 an dem dem Steuerruder 3 abgewandten Ende der Welle 2 angeordnet; alternativ kann der Sensor an jeder weiteren geeigneten Stelle angeordnet sein, beispielsweise zwischen dem Steuerruder 3 und dem Elektromotor 6 bzw. dessen Gehäuse 5, wobei im letzteren Fall die Führung der Welle 2 durch den Rotor 7 nicht erforderlich ist, so dass der Rotor 7 nicht als Hohlwelle ausgebildet sein muss. Die Sensorsignale dienen als Eingabegrößen für die Motorsteuerung 11, die vorzugsweise über einen CAN-Bus mit der elektronischen Steuerung des Schiffsteuersystems verbunden ist.

[0020] Bei der gezeigten Ausführungsform ist das Verhältnis zwischen dem Trägheitsmoment des Steuerruders 3 und dem Trägheitsmoment des Rotors 7 des Elektromotors vorzugsweise in der Größenordnung 1 / 2,5.

[0021] Gemäß der Erfindung wird vom Elektromotor ein Moment zwischen 0 und 15Nm erzeugt, welches den mechanischen Widerstand gegen die Lenkbewegung darstellt.

[0022] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung, die Gegenstand der Figur 2 ist, kann zwischen dem Steuerruder 3 und dem Elektromotor 6 der Lenkeinheit ein Planetengetriebe 12 angeordnet sein, welches als Reduziergetriebe dient, so dass der Elektromotor 6 kleiner dimensioniert werden kann. In diesem Fall wird in der Motorsteuerung 11 die Übersetzung des Planetengetriebes berücksichtigt, um aus den vom Sensor 10 gelieferten Werten den über das Steuerruder eingestellten Lenkwinkel zu berechnen.

[0023] Bei einer derartigen Konstruktion ist gemäß der Erfindung das Verhältnis zwischen dem Trägheitsmoment des Steuerruders 3 und dem Trägheitsmoment des Rotors 7 des Elektromotors vorzugsweise in der Größenordnung von $1 / 2{,}5 * i^2$, wobei i die Übersetzung des Planetengetriebes 12 ist. Daraus ist ersichtlich, dass, um diese Bedingung zu erfüllen das Trägheitsmoment des Rotors 7 geringer sein kann, als bei einer Konstruktion ohne ein zwischengeschaltetes Planetengetriebe.

[0024] Gegenstand der Figur 3 ist eine Ausführungs-

form, bei der zwischen dem Steuerruder 3 und dem Elektromotor 6 ein Kegelradgetriebe 13 angeordnet ist. Dadurch kann zum einen der vorhandene Bauraum optimal genutzt und zum andern durch die Übersetzung des Kegelradgetriebes eine geringere Dimensionierung des Motors ermöglicht werden. Bei dem gezeigten Beispiel ist keine Umrechnung der Werte des Sensors 10 zur Ermittlung des gewünschten Lenkwinkels notwendig, da keine Übersetzungsstufe zwischen Steuerruder und Sensor geschaltet ist.

[0025] Im Rahmen einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist der Elektromotor 6 als vektorgeregelter bürstenloser Torque-Motor ausgeführt und derart ausgelegt, dass er über den Drehzahlbereich ein konstantes Drehmoment erzeugt.

[0026] Gemäß der Erfindung und bezugnehmend auf Figur 4 werden beim Starten des Schiffsteuersystems und optional nach Ermitteln der Geradeaus-Position oder der gewünschten Startposition des Ruders von der Motorsteuerung 11 die Verbindungen zwischen der Motorsteuerung und dem Elektromotor 6 und zwischen der Motorsteuerung und dem Sensor 10 getestet (Schritt A). Wenn beide Verbindungen funktionieren wird der Elektromotor für eine definierte Zeit mit maximalem Strom betrieben, so dass das Steuerruder nicht bewegt werden kann, bis die elektronische Steuerung des Schiffsteuersystems (ECU) betriebsbereit ist (Schritte C, D); wenn eine der Verbindungen nicht funktioniert wird eine entsprechende Meldung an die ECU geleitet (Schritt B) und es wird eine Fehlermeldung ausgegeben.

[0027] Wenn die elektronische Steuerung des Schiffsteuersystems betriebsbereit ist, wird das CAN getestet (Schritt F). Wenn nach Ablauf einer definierten Zeit die ECU nicht betriebsbereit ist, bleibt der Motor 6 für ein weiteres Zeitintervall, das der definierten Zeit entspricht, unter maximalem Strom, bis die ECU betriebsbereit ist, wobei dieser Vorgang bis zu n Mal wiederholt wird, wobei n eine vorgegebene natürliche Zahl ist (bei dem in Figur 4 gezeigten Beispiel wird der Vorgang bis zu vier Mal wiederholt). Wenn nach der letzten Wiederholung des Vorgangs die ECU nicht betriebsbereit ist, wird eine entsprechende Information an die ECU geleitet (Schritt E) und es wird eine Fehlermeldung ausgegeben.

[0028] Wenn die ECU betriebsbereit ist wird das Vorhandensein der CAN-Kommunikation getestet (schritt F), wobei, wenn die CAN-Kommunikation nicht funktioniert eine entsprechende Information an die ECU geleitet wird. Wenn die CAN-Kommunikation betriebsbereit ist (Schritt G) d. h., wenn jedem an das CAN angeschlossenen Gerät eine Adresse zugewiesen ist, wird der Strom am Elektromotor 6 zurückgenommen bzw. reduziert (Schritt H); die Lenkeinheit ist betriebsbereit.

[0029] Gemäß der Erfindung wird eine Nicht-Rückstellzone um die Null-Position des Steuerruders (d. h. die Ausgangsposition vor der Durchführung der Lenkbewegung) definiert, wobei wenn sich der Drehwinkel bzw. die Winkelposition des Steuerruders bei einer Lenkbetätigung durch den Benutzer innerhalb dieser Zone befindet, das Steuerruder nicht auf die Null-Position durch Betätigung des Motors zurückgestellt wird; beispielsweise kann diese Zone als Bereich zwischen +90° und -90° um die aktuelle Null-Position des Steuerruders (d. h. die Ausgangsposition vor der Durchführung der Lenkbewegung) definiert sein. Bei nicht bestromten Motor bleibt das Steuerruder an der vom Benutzer gewählten Winkelposition.

[0030] Des weiteren wird eine Rückstellzone definiert, so dass, wenn sich der Drehwinkel bzw. die Winkelposition des Steuerruders nach einer Lenkbetätigung durch den Benutzer innerhalb dieser Zone befindet, das Steuerruder durch den Elektromotor mit konstanter Geschwindigkeit, vorzugsweise 18 Umdrehungen pro Minute, auf die aktuelle Null-Position des Steuerruders oder auf eine Position in der Nicht-Rückstellzone zurückgestellt wird; diese Zone ist vorzugsweise als Bereich zwischen den Enden der Nicht-Rückstellzone und 90% der maximal möglichen Anzahl an Steuerruderumdrehungen im und gegen den Uhrzeigersinn definiert, wobei die maximal möglichen Anzahl an Steuerruderumdrehungen vorzugsweise beim Starten des Motors ermittelt wird. Gemäß der Erfindung kann die Rückstellfunktion in der Motorsteuerung deaktiviert werden, wobei in diesem Fall das Verhalten der Lenkeinheit dem Verhalten bei einem Drehwinkel innerhalb der Nicht-Rückstellzone entspricht.

[0031] Durch die Unterteilung in Zonen und die zonenabhängige beschriebene Steuerung des Elektromotors wird die Sicherheit sowie der Komfort erhöht.

[0032] Gemäß der Erfindung sind die Bereiche zwischen 90% und 100% der maximal möglichen Anzahl an Steuerruderumdrehungen im und gegen den Uhrzeigersinn als Grenzzone bzw. als Bereiche definiert, in denen der Elektromotor derart betrieben wird, dass das Steuerruder nicht oder nur mit erheblichen Kräften, (diese Kräfte sind höher als die Kräfte, die erforderlich sind, um das Steuerruder zu bewegen, wenn sich dessen Winkelposition innerhalb der Rückstellzone befindet) in Richtung der Lenkbewegung bewegt werden kann, die vorzugsweise höher werden, je mehr sich die Umdrehungen des Steuerruders an die maximal mögliche Anzahl an Steuerruderumdrehungen nähern, wobei im Rahmen einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung vorgesehen ist, dass das Steuerruder durch den Elektromotor mit konstanter Geschwindigkeit auf eine definierte Position innerhalb der Rückstellzone, z.B. 90% der maximal möglichen Anzahl an Steuerruderumdrehungen oder auf eine Position innerhalb der Nicht-Rückstellzone zurückgestellt wird. Beispielsweise nimmt der Strom in diesem Bereich Werte zwischen 2 A und 7.4 A an. Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform ist der Strom in den Bereichen zwischen 90% und 100% der maximal möglichen Anzahl an Steuerruderumdrehungen im und gegen den Uhrzeigersinn konstant und weist einen Maximalwert auf, beispielsweise 7,2 A.

[0033] Gemäß weiterer Varianten der Erfindung kann die Definition der Zonen variiert werden, so dass z.B. die Grenzzone bei Y% der maximal möglichen Anzahl an

Steuerruderumdrehungen im und gegen den Uhrzeigersinn beginnt, wobei Y einen Wert zwischen 45 und 95 annehmen kann; auch kann die Nicht-Rückstellzone als Bereich zwischen +X° und -X° um die aktuelle Null - Position des Steuerruders definiert werden, wobei X Werte im Intervall zwischen 1 ° und 135 ° annehmen kann.

[0034] Gemäß der Erfindung ist vorgesehen, dass der durch den Elektromotor bei einer Betätigung des Steuerruders seitens des Benutzers erzeugte mechanische Widerstand am Steuerruder (d. h. der Strom mit dem der Motor betrieben wird) in der Rückstellzone und in der Nicht-Rückstellzone eine Funktion der Geschwindigkeit ist, wobei der Widerstand mit steigender Geschwindigkeit bis zu einem vorgegebenen Grenzwert vorzugsweise linear steigt, wobei in der Grenzzone, wie bereits erläutert, der Widerstand entweder einen konstanten Maximalwert aufweist oder in Abgängigkeit der noch fehlenden Umdrehungen bis zur maximal möglichen Anzahl an Steuerruderumdrehungen bis zum Maximalwert hin steigt. Durch diese Konzeption wird die Sicherheit erhöht, da sehr schnelle Manöver bei hohen Geschwindigkeiten weitgehend vermieden werden.

[0035] Für den Fall, dass keine Zonen definiert sind ist ebenfalls vorgesehen, dass der durch den Elektromotor bei einer Betätigung des Steuerruders seitens des Benutzers erzeugte mechanische Widerstand am Steuerruder eine Funktion der Geschwindigkeit ist, wobei der Widerstand mit steigender Geschwindigkeit bis zu einem vorgegebenen Grenzwert vorzugsweise linear steigt.

[0036] Vorzugsweise wird eine Geschwindigkeit definiert, unterhalb der der Strom am Elektromotor Null ist, so dass kein mechanischer Widerstand bei einer Bewegung des Steuerruders erzeugt wird, wobei oberhalb dieser Geschwindigkeit der Strom ansteigt und ein mechanischer Widerstand erzeugt wird. Beispielsweise erzeugt der Elektromotor der Lenkeinheit bei einer Geschwindigkeit unterhalb 10 kn kein Moment, wobei oberhalb dieser Geschwindigkeit der Strom zwischen 0,7 A und 2 A (vorgegebener Grenzwert) eingestellt wird. Gemäß der Erfindung soll dies einem Moment zwischen 0 und 15 Nm entsprechen. Des Weiteren ist vorgesehen, dass, wenn ein Autopilot eingeschaltet ist, der mechanische Widerstand bei jeder Geschwindigkeit einen konstanten hohen Wert annimmt. Beispielsweise kann das Moment 12Nm betragen, was bei dem in den Beispielen beschriebenen Elektromotor einem Strom von 1,8 A entspricht.

[0037] Die oben beschriebene Vorgehensweise wird anhand Figur 5, welche ein schematisches Ablaufdiagramm einer Variante des Verfahrens darstellt, detaillierter veranschaulicht. Zu Beginn werden die Parameter in der Motorsteuerung 11 initialisiert und geprüft, ob die Motorsteuerung betriebsbereit ist. Ist dies der Fall, so wird eine entsprechende Information an die ECU übermittelt und die Steuerung geht in den Speed-Control-Modus über. Hierbei wird geprüft, ob eine Auto-Pilot-Einrichtung aktiviert ist, wobei wenn dies der Fall ist, der Strom zum Betrieb des Elektromotors zum Erzeugen des mechanischen Widerstandes maximal den Wert 1,8 A annimmt. Ist keine Auto-Pilot-Einrichtung aktiviert und ist die Bootsgeschwindigkeit geringer als 10 Knoten pro Stunde, so ist der maximale Strom Null, andernfalls ist der maximale Strom eine Funktion der Bootsgeschwindigkeit.

[0038] Nach Abschluss der Betätigung des Steuerruders seitens des Benutzers ist die weitere Vorgehensweise davon abhängig, in welcher Zone bzw. in welchem Bereich sich das Steuerruder nach der Lenkbetätigung befindet. Wenn sich das Steuerruder innerhalb der Nicht-Rückstellzone (Zone A) befindet, wird der Motor ausgeschaltet, wobei wenn sich das Steuerruder innerhalb der Rückstellzone (Zone B) befindet und die Rückstellfunktion aktiviert ist, bei aktivierter Auto-Pilot-Einrichtung das Steuerruder mit konstanter Geschwindigkeit in die Zone A oder auf die Geradeaus-Position zurückgebracht wird. Ist die Auto-Pilot-Einrichtung nicht aktiviert, so wird der Motor ausgeschaltet. Wenn sich das Steuerruder in einem Bereich zwischen 90% und 100% der maximal möglichen Anzahl an Steuerruderumdrehungen befindet, wird der Elektromotor mit einem Strom betrieben, der desto höher ist, je näher sich das Steuerruder an die maximal mögliche Anzahl an Steuerruderumdrehungen befindet, wobei der maximale Strom bei dem in den Beispielen beschriebenen Elektromotor 7,4 A beträgt. Dadurch wird das Steuerruder mit konstanter Geschwindigkeit in die Zone B oder in die Zone A zurückgebracht.

[0039] Wie bereits erläutert, wird vorzugsweise als Elektromotor ein als vektorgeregelter bürstenloser Torque-Motor ausgeführter Motor eingesetzt, welcher zur Erzeugung des mechanischen Widerstands wie folgt gesteuert wird.

[0040] Die Motorsteuerung 11 weist die gleiche physikalische Auflösung auf, wie der Inkrementalgeber 10, wobei diese Auflösung mit dem Faktor 4 multipliziert wird, um der Diskretisierung hinsichtlich der drei Phasen U, V W Rechnung zu tragen, wie anhand Figur 6 veranschaulicht. In Figur 6 ist ein Diagramm gezeigt, welches den Verlauf einer der Phasen U, V, W (Winkel θ) der Motorsteuerung als Funktion der Zeit sowie die Auflösung I des Inkrementalgebers darstellt. Ferner ist in der Figur die Auflösung J der Motorsteuerung nach der Diskretisierung dargestellt, die in vorteilhafter Weise um den Faktor 4 höher ist, als die Auflösung des Inkrementalgebers 10. Vorzugsweise wird ein Inkrementalgeber mit einer Auflösung von 2048 Impulsen pro Umdrehung verwendet, so dass die Auflösung in der Motorsteuerung 8192 Impulse pro Umdrehung beträgt.

[0041] Wenn der Inkrementalgeber keine Bewegung der Welle und somit des Steuerruders erfasst, bleibt der Rotor in der selben Position, die als Null-Position dient; wenn der Inkrementalgeber eine Drehbewegung des Rotors erfasst, werden gemäß der Erfindung die Phasen des Motors invertiert, so dass der Motor ein Moment entgegen der vom Benutzer durchgeführten Drehbewegung des Steuerruders erzeugt. Im Rahmen einer Weiterbildung der Erfindung ist die Höhe des vom Motor erzeugten Momentes proportional zur Höhe des vom Benutzer ein-

geleiteten Momentes bzw. zur dadurch erfolgten Drehung des Steuerruders.

[0042] Diese Vorgehensweise wird anhand Figur 7 veranschaulicht, welche im oberen Teil ein Diagramm zeigt, das die aktuelle Phase U, V, W des Motors und die invertierte Phase (Kurve K) als Funktion der Zeit darstellt; die Auflösung des Inkrementalgebers ist, wie in Figur 6 mit I bezeichnet. Im unteren Teil der Figur ist eine schematische Darstellung der Bewegung des Steuerruders jeweils im Uhrzeigersinn und gegen den Uhrzeigersinn gezeigt.

[0043] Die Nullposition des Rotors wird erfindungsgemäß nach jeder erfolgter Lenkbewegung neu definiert, wie anhand Figur 8 erläutert, welche ein schematisches Ablaufdiagramm der Motorsteuerung zur Erzeugung eines mechanischen Widerstands gegen die Lenkbewegung des Fahrers darstellt.

[0044] Zu Beginn der Steuerung ist der Elektromotor eingeschaltet und der Rotor wird nicht bewegt, wobei als Nullposition die aktuelle Position des Inkrementalgebers definiert wird, die der absoluten Nullposition, vorzugsweise der Geradaus-Position entspricht (Schritte A, B). Wenn das Drehmoment, das auf den Rotor wirkt größer ist als das Reibmoment und das Massenträgheitsmoment des Rotors (Schritt C) wird ermittelt, ob die dadurch hervorgerufene Drehbewegung im oder gegen den Uhrzeigersinn ist, wobei der Motor derart gesteuert wird, dass er ein Drehmoment gegen die von der Lenkbewegung hervorgerufene Drehbewegung erzeugt (Schritt D). Nach Beendigung der Betätigung des Steuerruders seitens des Benutzers wird die aktuelle Position des Inkrementalgebers als neue Nullposition definiert (Schritt E) und der Strom nimmt den Wert Null an. Anschließend wird geprüft, ob die aktuelle Position des Inkrementalgebers mit der absoluten Nullposition übereinstimmt (Schritt F). Wenn die aktuelle Position des Inkrementalgebers mit der absoluten Nullposition übereinstimmt, wird der Elektromotor ausgeschaltet; ist dies nicht der Fall, werden die Schritte D und E wiederholt. Dadurch wird gewährleistet, dass bei Rückkehr in die absolute Nullposition vom Motor kein Moment erzeugt wird.

[0045] Die erfindungsgemäße Lenkeinheit kann unabhängig von der Art des mit dem Ruder verbundenen Aktuators in Steer-by-wire Schiffsteuersystemen eingesetzt werden. Beispielsweise kann der Aktuator als hydraulischer oder elektromechanischer Aktuator ausgeführt sein.

[0046] Die ECU verarbeitet die Signale der vom Benutzer betätigten Lenkeinheit oder einer Auto-Pilot-Einrichtung und leitet diese an den Lenkaktuator. Hierbei wird der Lenkaktuator entsprechend der Vorgaben der Lenkeinheit und der ECU hinsichtlich des Lenkwinkels und der Drehgeschwindigkeit des Ruders betrieben. Für den Fall, dass eine Auto-Pilot-Einrichtung aktiviert ist, wird in der Motorsteuerung der Lenkeinheit die Ruderposition kontinuierlich aktualisiert.

Bezugszeichen

1	Lenkeinheit
2	Welle
3	Steuerruder
4	Schraubenmutter
5	Gehäuse
6	Elektromotor
7	Rotor
8	Stator
9	Lager
10	Sensor
11	Steuerung
12	Planetengetriebe
13	Kegelradgetriebe

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Lenkeinheit (1) für ein Steer-by-wire Schiffsteuersystem umfassend ein Steuerruder (3), eine über einen CAN-Bus mit der elektronischen Steuerung des Schiffsteuersystems (ECU) verbundene Steuerung (11), einen Sensor (10) zur Erfassung der Winkelposition des Steuerruders (10) und einen Elektromotor (6) als Einrichtung zum Erzeugen eines mechanischen Widerstandes am Steuerruders, dadurch **gekennzeichne t** , dass für den Fall, dass keine Auto-Pilot-Einrichtung aktiviert ist, der durch den Elektromotor (6) bei einer Betätigung des Steuerruders (3) seitens des Benutzers erzeugte mechanische Widerstand am Steuerruder (d.h. der Strom mit dem der Motor (6) betrieben wird) eine Funktion der Geschwindigkeit ist, wobei der Widerstand mit steigender Geschwindigkeit bis zu einem vorgegebenen Grenzwert steigt, wobei für den Fall, dass eine Auto-Pilot-Einrichtung aktiviert ist, der mechanische Widerstand bei jeder Geschwindigkeit einen konstanten hohen Wert annimmt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Geschwindigkeit definiert wird, unterhalb der der Strom am Elektromotor (6) Null ist, so dass kein mechanischer Widerstand bei einer Bewegung des Steuerruders (3) erzeugt wird, wobei oberhalb dieser Geschwindigkeit der Strom als Funktion der Geschwindigkeit bis zu einem vorgegebenen Grenzwert steigt und ein mechanischer Widerstand erzeugt wird.

3. Verfahren zum Betreiben einer Lenkeinheit (1) für ein Steer-by-wire Schiffsteuersystem umfassend ein Steuerruder (3), eine üben einen CAN-Bus mit der elektronischen Steuerung des Schiffsteuersystems (ECU) verbundene Steuerung (11), einen Sensor

(10) zur Erfassung der Winkelposition des Steuerruders (10) und einen Elektromotor (6) als Einrichtung zum Erzeugen eines mechanischen Widerstandes am Steuerruder, dadurch **gekennzeichne** t , dass um die aktuelle Null-Position des Steuerruders (3) (d.h. die Ausgangsposition vor der Durchführung der Lenkbewegung) eine Nicht-Rückstellzone, eine Rückstellzone und eine Grenzzone definiert werden, wobei, wenn sich die Winkelposition des Steuerruders bei einer Lenkbetätigung durch den Benutzer innerhalb der Nicht-Rückstellzone befindet, das Steuerruder (3) nicht auf die aktuelle Null - Position des Steuerruders durch Betätigung des Motors zurückgestellt wird, wobei wenn sich die Winkelposition des Steuerruders (3) nach einer Lenkbetätigung durch den Benutzer innerhalb der Rückstellzone befindet, das Steuerruder (3) durch den Elektromotor (6) mit konstanter Geschwindigkeit auf die aktuelle Null-Position des Steuerruders oder auf eine Position in der Nicht-Rückstellzone zurückgestellt wird und wobei, wenn sich die Winkelposition des Steuerruders (3) nach einer Lenkbetätigung durch den Benutzer innerhalb der Grenzzone befindet, der Elektromotor (6) derart betrieben wird, dass das Steuerruder (3) nicht oder nur mit erheblichen Kräften weiter in Richtung der Lenkbewegung bewegt werden kann und mit konstanter Geschwindigkeit auf eine definierte Wickelposition innerhalb der Rückstellzone oder auf eine definierte Position innerhalb der Nicht-Rückstellzone zurückgestellt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Nicht-Rückstellzone als Bereich zwischen +X° und X° um die aktuelle Null-Position des Steuerruders (d. h. die Ausgangsposition vor der Durchführung der Lenkbewegung) definiert ist, dass die Rückstellzone als Bereich zwischen den Enden der Nicht-Rückstellzone und Y% der maximal möglichen Anzahl an Steuerruderumdrehungen im und gegen den Uhrzeigersinn definiert ist und dass als Grenzzone die Bereiche zwischen Y% und 100% der maximal möglichen Anzahl an Steuerruderumdrehungen im und gegen den Uhrzeigersinn definiert sind, wobei X Werte zwischen 1 und 135 und Y Werte zwischen 45 und 95 annehmen kann.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekenntzeichnet, dass für den Fall, dass keine Auto-Pilot Einrichtung aktiviert ist, der durch den Elektromotor bei einer Betätigung des Steuerruders seitens des Benutzers erzeugte mechanische Widerstand am Steuerruder (d. h. der Strom mit dem der Motor (6) betrieben wird) in der Rückstellzone und in der Nicht-Rückstellzone eine Funktion der Geschwindigkeit ist, wobei der Widerstand mit steigender Geschwindigkeit bis zu einem vorgegebenen Grenzwert steigt, wobei für den Fall, dass eine Auto-Pilot-Einrichtung aktiviert ist, der mechanische Widerstand bei jeder Geschwindigkeit einen konstanten hohen Wert annimmt und wobei in der Grenzzone der Widerstand entweder einen konstanten Maximalwert aufweist oder in Abgängigkeit der noch fehlenden Umdrehungen bis zur maximal möglichen Anzahl an Steuerruderumdrehungen bis zum Maximalwert hin steigt

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass**, für den Fall, dass keine Auto-Pilot-Einrichtung aktiviert ist, und sich die Winkelposition des Steuerruders (3) in der Rückstillzone oder in der Nicht-Rockstellzone befindet, eine Geschwindigkeit definiert wird, unterhalt der der Strom am Elektromotor (6) Null ist, so dass kein mechanischer Widerstand bei einer Bewegung des Steuerruders (3) erzeugt wird, wobei oberhalb dieser Geschwindigkeit der Strom als Funktion der Geschwindigkeit bis zu einem vorgegebenen Grenzwert ansteigt und ein mechanischer Widerstand erzeugt wird.

7. Verfahren nach einem der Anspruche 1 bis 8, dadurch **gekennze ichnet**, dass beim Starten des Schiftsteuersystems und optional nach Ermitteln der Geradeaus-Position oder der gewünschten Startposition des Ruders von der Motorsteuerung (11) die Verbindungen zwischen der Motorsteuerung (11) und dem Elektromotor (6) und zwischen der Motorsteuerung (11) und dem Sensor (10) getestet werden, wobei wenn beide Verbindungen funktionieren der Elektromotor (6) für eine definierte Zeit mit maximalem Strom betrieben wird, so dass das Steuerruder (3) nicht bewegt werden kann, bis die elektronische Steuerung des Schiffsteuersystems (ECU) betriebsbereit ist, wobei wenn eine der Verbindungen nicht funktioniert eine entsprechende Meldung an die ECU geleitet und eine Fehlermeldung ausgegeben wird, wobei wenn die elektronische Steuerung des Schiffsteuersystems betriebsbereit ist, das CAN getestet wird, wobei wenn nach Ablauf einer definierten Zeit die ECU nicht betriebsbereit ist, der Motor (6) für ein weiteres Zeitintervall, das der definierten Zeit entspricht unter maximalem Strom bleibt, bis die ECU betriebsbereit ist, wobei dieser Vorgang bis zu n Mal wiederholt wird, wobei n eine vorgegebene natürliche Zahl ist und wobei wenn nach der letzten Wiederholung des Vorgangs die ECU nicht betriebsbereit ist, eine entsprechende Information an die ECU geleitet und eine Fehlermeldung ausgegeben wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass**, wenn die ECU betriebsbereit ist, das Vorhandensein der CAN-Kommunikation getestet wird, wobei, wenn die CAN-Kommunikation nicht funktioniert eine entsprechende Information an die ECU geleitet wird und wobei wenn die CAN-Kommunikation betriebsbereit ist die Strom am Elektro-

motor (6) zurückgenommen bzw. reduziert wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** für den Fall, dass der Elektromotor (6) als vektorgeregelter bürstenloser Torque-Motor ausgeführt ist, dessen Rotor (7) mit einer mit dem Steuerruder (3) drehfest verbundenen Welle (2) drehfest verbunden ist und der Sensor (10) als Inkrementalgeber ausgebildet ist, der Rotor (7) in der selben Position bleibt, solange der Inkrementalgeber keine Bewegung der Welle (2) erfasst, wobei, wenn der Inkrementalgeber eine Drehbewegung des Rotors erfässt, die Phasen des Elektromotors (8) invertiert werden, so dass der Motor ein Moment entgegen der vom Benutzer durchgeführten Drehbewegung des Steuerruders (3) erzeugt.

10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Höhe des vom Motor (6) erzeugten Momentes proportional zur Höhe des vom Benutzer eingeleiteten Momentes bzw. zur dadurch erfolgten Drehung des Steuerruders ist.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** zu Beginn der Steuerung des Elektromotors (6) der Elektromotor eingeschaltet wird, wobei als Nullposition die aktuelle Position des inkrementalgebers definiert wird, die einer definierten absoluten Nullposition entspricht, wobei wenn das Drehmoment, das durch die Betätigung des Steuerruders (3) seitens des Benutzers auf den Rotor (6) wirkt größer ist als das Reibmoment und das Massenträgheitsmoment des Rotors ermittelt wird, ob die dadurch hervorgerufene Drehbewegung im oder gegen den Uhrzeigersinn ist, wobei der Motor (6) derart gesteuert wird, dass er ein Drehmoment gegen die von der Lenkbewegung hervorgerufene Drehbewegung erzeugt.

12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach Beendigung der Betätigung des Steuerruders (3) seitens des Benutzers die aktuelle Position des Inkrementalgebers als neue Nullposition definiert wird und der Strom den Wert Null annimmt, wobei anschließend geprüft wird, ob die aktuelle Position des Inkrementalgebers mit der absoluten Nullposition übereinstimmt, wobei wenn die aktuelle Position des Inkrementalgebers mit der absoluten Nullposition übereinstimmt, der Elektromotor ausgeschaltet wird und wenn dies nicht der Fall ist, der Motor eingeschaltet bleibt und derart gesteuert wird, dass er ein Drehmoment gegen die von der Lenkbewegung hervorgerufene Drehbewegung erzeugt.

Claims

1. Method for operating a steering unit (1) for a steer-by-wire ship control system comprising a rudder (3), a controller (11) which is connected via a CAN bus to the electronic controller of the ship control system (ECU), a sensor (10) for detecting the angular position of the rudder (3), and an electric motor (6) as a device for generating a mechanical resistance on the rudder, **characterized in that**, for the case where no autopilot device is activated, the mechanical resistance on the rudder which is generated by the electric motor (6) in the event of an actuation of the rudder (3) by the user (that is to say, the current, with which the motor (6) is operated) is a function of the speed, the resistance increasing as the speed increases up to a predefined limiting value, the mechanical resistance assuming a constant high value at every speed for the case where an autopilot device is activated.

2. Method according to Claim 1, **characterized in that** a speed is defined, below which the current at the electric motor (6) is zero, with the result that no mechanical resistance is generated in the case of a movement of the rudder (3), above the said speed the current increasing as a function of the speed up to a predefined limiting value and a mechanical resistance being generated.

3. Method for operating a steering unit (1) for a steer-by-wire ship control system comprising a rudder (3), a controller (11) which is connected via a CAN bus to the electronic controller of the ship control system (ECU), a sensor (10) for detecting the angular position of the rudder (3), and an electric motor (6) as a device for generating a mechanical resistance on the rudder, **characterized in that** a non-resetting zone, a resetting zone and a threshold zone are defined around the actual zero position of the rudder (3) (that is to say, the initial position before the steering movement is carried out), the rudder (3) not being reset to the actual zero position of the rudder by actuation of the motor if the angular position of the rudder in the event of a steering actuation by the user is situated within the non-resetting zone, the rudder (3) being reset by the electric motor (6) at a constant speed to the actual zero position of the rudder or to a position in the non-resetting zone if the angular position of the rudder (3) after a steering actuation by the user is situated within the resetting zone, and, if the angular position of the rudder (3) after a steering actuation by the user is situated within the threshold zone, the electric motor (6) being operated in such a way that the rudder (3) cannot be moved, or can only be moved with considerable forces, further in the direction of the steering movement and is reset at a constant speed to a defined angular position

within the resetting zone or to a defined position within the non-resetting zone.

4. Method according to Claim 3, **characterized in that** the non-resetting zone is defined as a region between +X° and X° about the actual zero position of the rudder (that is to say, the initial position before the steering movement is carried out), **in that** the resetting zone is defined as a region between the ends of the non-resetting zone and Y% of the maximum possible number of rudder revolutions in and counter to the clockwise direction, and **in that** the regions between Y% and 100% of the maximum possible number of rudder revolutions in and counter to the clockwise direction are defined as a threshold zone, it being possible for X to assume values between 1 and 135 and for Y to assume values between 45 and 95.

5. Method according to Claim 3 or 4, **characterized in that**, for the case where no autopilot device is activated, the mechanical resistance on the rudder which is generated by the electric motor in the event of an actuation of the rudder by the user (that is to say, the current, with which the motor (6) is operated) is a function of the speed in the resetting zone and in the non-resetting zone, the resistance increasing as the speed increases up to a predefined limiting value, the mechanical resistance assuming a constant high value at every speed for the case where an autopilot device is activated, and, in the threshold zone, the resistance either having a constant maximum value or increasing up to the maximum value as a function of the still absent revolutions up to the maximum possible number of rudder revolutions.

6. Method according to Claim 5, **characterized in that**, for the case where no autopilot device is activated and the angular position of the rudder (3) is situated in the resetting zone or in the non-resetting zone, a speed is defined, below which the current at the electric motor (6) is zero, with the result that no mechanical resistance is generated in the event of a movement of the rudder (3), above the said speed the current increasing as a function of the speed up to a predefined limiting value and a mechanical resistance being generated.

7. Method according to one of Claims 1 to 6, **characterized in that**, during the starting of the ship control system and optionally after the determination of the straight-ahead position or the desired starting position of the rudder by the motor controller (11), the connections between the motor controller (11) and the electric motor (6) and between the motor controller (11) and the sensor (10) are tested, the electric motor (6) being operated with maximum current for a defined time if both connections are functioning, with the result that the rudder (3) cannot be moved until the electronic controller of the ship control system (ECU) is ready for operation, a corresponding message being guided to the ECU and a fault message being output if one of the connections is not functioning, the CAN being tested when the electronic controller of the ship control system is ready for operation, the motor (6) remaining under maximum current, if the ECU is not ready for operation after a defined time has elapsed, for a further time interval corresponding to the defined time until the ECU is ready for operation, this procedure being repeated up to n times, n being a predefined natural number, and a corresponding information item being guided to the ECU and a fault message being output if the ECU is not ready for operation after the final repetition of the procedure.

8. Method according to Claim 7, **characterized in that** the presence of the CAN communication is tested when the ECU is ready for operation, a corresponding information item being guided to the ECU if the CAN communication is not functioning, and the current at the electric motor (6) being cancelled or reduced if the CAN communication is ready for operation.

9. Method according to one of Claims 1 to 8, **characterized in that**, for the case where the electric motor (6) is configured as a vector-controlled brushless torque motor, the rotor (7) of which is connected fixedly to a shaft (2) so as to rotate with it, which shaft (2) is connected fixedly to the rudder (3) so as to rotate with it, and the sensor (10) is configured as an incremental encoder, the rotor (7) remains in the same position as long as the incremental encoder does not detect any movement of the shaft (2), the phases of the electric motor (6) being inverted if the incremental encoder detects a rotational movement of the rotor, with the result that the motor generates a moment counter to the rotational movement of the rudder (3) which is carried out by the user.

10. Method according to Claim 9, **characterized in that** the magnitude of the moment which is generated by the motor (6) is proportional to the magnitude of the moment which is introduced by the user or to the rotation of the rudder which is carried out as a result.

11. Method according to Claim 9 or 10, **characterized in that**, at the beginning of the control operation of the electric motor (6), the electric motor is switched on, the actual position of the incremental encoder being defined as the zero position, which actual position corresponds to a defined absolute zero position, a determination being carried out, if the torque which acts on the rotor (6) as a result of the actuation of the rudder (3) by the user is greater than the fric-

tional moment and the mass moment of inertia of the rotor, as to whether the rotational movement which is caused as a result is in or counter to the clockwise direction, the motor (6) being controlled in such a way that it generates a torque counter to the rotational movement which is caused by the steering movement.

12. Method according to Claim 11, **characterized in that**, after the end of the actuation of the rudder (3) by the user, the actual position of the incremental encoder is defined as a new zero position and the current assumes the value zero, a test subsequently being carried out as to whether the actual position of the incremental encoder coincides with the absolute zero position, the electric motor being switched off if the actual position of the incremental encoder coincides with the absolute zero position, and, if this is not the case, the motor remaining switched on and being controlled in such a way that it generates a torque counter to the rotational movement which is caused by the steering movement.

Revendications

1. Procédé pour faire fonctionner une unité de direction (1) pour un système de pilotage de navire Steer-by-wire (pilotage par câble) comprenant un gouvernail (3), une commande (11) reliée par le biais d'un bus CAN à la commande électronique du système de pilotage de navire (UCE), un capteur (10) pour détecter la position angulaire du gouvernail (3), et un moteur électrique (6) servant de dispositif pour générer une résistance mécanique au niveau du gouvernail, **caractérisé en ce que** dans le cas où aucun dispositif de pilotage automatique n'est activé, la résistance mécanique au niveau du gouvernail (c'est-à-dire le courant avec lequel le moteur (6) est entraîné) produite par le moteur électrique (6) lors de l'actionnement du gouvernail (3) par l'utilisateur est fonction de la vitesse, la résistance augmentant avec l'augmentation de la vitesse jusqu'à une valeur limite prédéfinie, et dans le cas où un dispositif de pilotage automatique est activé, la résistance mécanique adoptant une valeur élevée constante quelle que soit la vitesse.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'**une vitesse est définie, en dessous de laquelle le courant au niveau du moteur électrique (6) est nul, de telle sorte qu'aucune résistance mécanique ne soit produite lors d'un mouvement du gouvernail (3), au-dessus de cette vitesse, le courant augmentant en fonction de la vitesse jusqu'à une valeur limite prédéfinie et une résistance mécanique étant produite.

3. Procédé pour faire fonctionner une unité de direction (1) pour un système de pilotage de navire Steer-by-wire (pilotage par câble) comprenant un gouvernail (3), une commande (11) reliée par le biais d'un bus CAN à la commande électronique du système de pilotage de navire (UCE), un capteur (10) pour détecter la position angulaire du gouvernail (3), et un moteur électrique (6) servant de dispositif pour générer une résistance mécanique au niveau du gouvernail, **caractérisé en ce qu'**autour de la position nulle actuelle du gouvernail (3) (c'est-à-dire la position de départ avant la réalisation du mouvement de direction), une zone de non-rappel, une zone de rappel et une zone limite sont définies, où, lorsque la position angulaire du gouvernail se trouve à l'intérieur de la zone de non-rappel lors d'une commande de direction par l'utilisateur, le gouvernail (3) n'est pas ramené à la position nulle actuelle du gouvernail par commande du moteur, lorsque la position angulaire du gouvernail (3) se trouve à l'intérieur de la zone de rappel après une commande de direction par l'utilisateur, le gouvernail (3) est ramené par le moteur électrique (6) à vitesse constante à la position nulle actuelle du gouvernail ou à une position dans la zone de non-rappel, et lorsque la position angulaire du gouvernail (3), après une commande de direction par l'utilisateur, se trouve à l'intérieur de la zone limite, le moteur électrique (6) est commandé de telle sorte que le gouvernail (3) ne puisse pas être déplacé davantage dans la direction du mouvement de direction ou seulement au prix de forces considérables et est ramené avec une vitesse constante à une position angulaire définie à l'intérieur de la zone de rappel ou à une position définie à l'intérieur de la zone de non-rappel.

4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** la zone de non-rappel est définie comme une plage entre +X° et X° autour de la position nulle actuelle du gouvernail (c'est-à-dire la position de départ avant la réalisation du mouvement de direction), **en ce que** la zone de rappel est définie comme une plage entre les extrémités de la zone de non-rappel et Y % du nombre maximal possible de rotations du gouvernail dans le sens des aiguilles d'une montre et dans le sens inverse, et **en ce que** l'on définit en tant que zone limite les plages entre Y % et 100 % du nombre maximal possible de rotations du gouvernail dans le sens des aiguilles d'une montre et dans le sens inverse, les valeurs X pouvant être comprises entre 1 et 135 et les valeurs Y pouvant être comprises entre 45 et 95.

5. Procédé selon la revendication 3 ou 4, **caractérisé en ce que** dans le cas où aucun dispositif de pilotage automatique n'est activé, la résistance mécanique au niveau du gouvernail (c'est-à-dire le courant avec lequel le moteur (6) est entraîné) dans la zone de

rappel et dans la zone de non-rappel, produite par le moteur électrique lors de l'actionnement du gouvernail par l'utilisateur, est fonction de la vitesse, la résistance augmentant avec l'augmentation de la vitesse jusqu'à une valeur limite prédéfinie, et dans le cas où un dispositif de pilotage automatique est activé, la résistance mécanique adoptant une valeur élevée constante quelle que soit la vitesse, et dans la zone limite, la résistance présentant soit une valeur maximale constante soit augmentant jusqu'à la valeur maximale en fonction des rotations encore inachevées jusqu'au nombre maximal possible de rotations du gouvernail.

6. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** dans le cas où aucun dispositif de pilotage automatique n'est activé, et que la position angulaire du gouvernail (3) se trouve dans la zone de rappel ou dans la zone de non-rappel, une vitesse est définie, en dessous de laquelle le courant au niveau du moteur électrique (6) est nul, de telle sorte qu'aucune résistance mécanique ne soit produite lors d'un mouvement du gouvernail (3), au-dessus de cette vitesse, le courant augmentant en fonction de la vitesse jusqu'à une valeur limite prédéfinie et une résistance mécanique étant produite.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce qu'**au démarrage du système de pilotage de navire et en option après la détection d'une position en ligne droite ou de la position de départ souhaitée du gouvernail par la commande du moteur (11), les connexions entre la commande du moteur (11) et le moteur électrique (6) et entre la commande du moteur (11) et le capteur (10) sont testées, et lorsque les deux connexions fonctionnent, le moteur électrique (6) étant entraîné pendant un temps défini avec un courant maximal, de telle sorte que le gouvernail (3) ne puisse pas être déplacé tant que la commande électronique du système de pilotage de navire (UCE) n'est pas prête à fonctionner, et lorsque l'une des connexions ne fonctionne pas, un avis correspondant étant communiqué à l'UCE et un avis de défaillance étant émis, et lorsque la commande électronique du système de pilotage de navire est prête à fonctionner, le CAN étant testé, et lorsque, après le déroulement d'un temps défini, l'UCE n'est pas prête à fonctionner, le moteur (6) restant alimenté avec le courant maximal pendant un intervalle de temps supplémentaire correspondant au temps défini, jusqu'à ce que l'UCE soit prête à fonctionner, cette opération étant répétée jusqu'à n fois, n étant un nombre naturel prédéfini et lorsque, après la dernière répétition de l'opération, l'UCE n'est pas prête à fonctionner, une information correspondante étant communiquée à l'UCE et un avis de défaillance étant émis.

8. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce que**, lorsque l'UCE est prête à fonctionner, la présence d'une communication CAN est testée, et lorsque la communication CAN ne fonctionne pas, une information correspondante étant communiquée à l'UCE et lorsque la communication CAN est prête à fonctionner, le courant au niveau du moteur électrique (6) étant retiré ou réduit.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** dans le cas où le moteur électrique (6) est réalisé sous forme de moteur couple sans balai à commande vectorielle, son rotor (7) est relié de manière solidaire en rotation à un arbre (2) relié de manière solidaire en rotation au gouvernail (3), et le capteur (10) est réalisé sous forme de capteur incrémental, le rotor (7) reste dans la même position tant que le capteur incrémental ne détecte pas de mouvement de l'arbre (2), et lorsque le capteur incrémental détecte un mouvement de rotation du rotor, les phases du moteur électrique (6) sont inversées, de telle sorte que le moteur produise un couple à l'encontre du mouvement de rotation du gouvernail (3) effectué par l'utilisateur.

10. Procédé selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** l'amplitude du couple produit par le moteur (6) est proportionnelle à l'amplitude du couple introduit par l'utilisateur ou à la rotation en résultant du gouvernail.

11. Procédé selon la revendication 9 ou 10, **caractérisé en ce qu'**au début de la commande du moteur électrique (6), le moteur électrique est connecté, la position actuelle du capteur incrémental étant définie comme position nulle, laquelle correspond à une position nulle absolue définie, et lorsque le couple qui agit sur le rotor (6) par l'actionnement du gouvernail (3) par l'utilisateur est supérieur au couple de friction et au couple d'inertie de masse du rotor, on détecte si le mouvement de rotation ainsi provoqué est dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens inverse, le moteur (6) étant commandé de telle sorte qu'il produise un couple à l'encontre du mouvement de rotation provoqué par le mouvement de direction.

12. Procédé selon la revendication 11, **caractérisé en ce qu'**après la fin de l'actionnement du gouvernail (3) par l'utilisateur, la position actuelle du capteur incrémental est définie comme nouvelle position nulle et le courant adopte la valeur nulle, et l'on contrôle ensuite si la position actuelle du capteur incrémental coïncide avec la position nulle absolue, et lorsque la position actuelle du capteur incrémental coïncide avec la position nulle absolue, le moteur électrique est coupé et si ce n'est pas le cas, le moteur reste alimenté et est commandé de telle sorte qu'il produise un couple à l'encontre du mouvement de rotation

provoqué par le mouvement de direction.

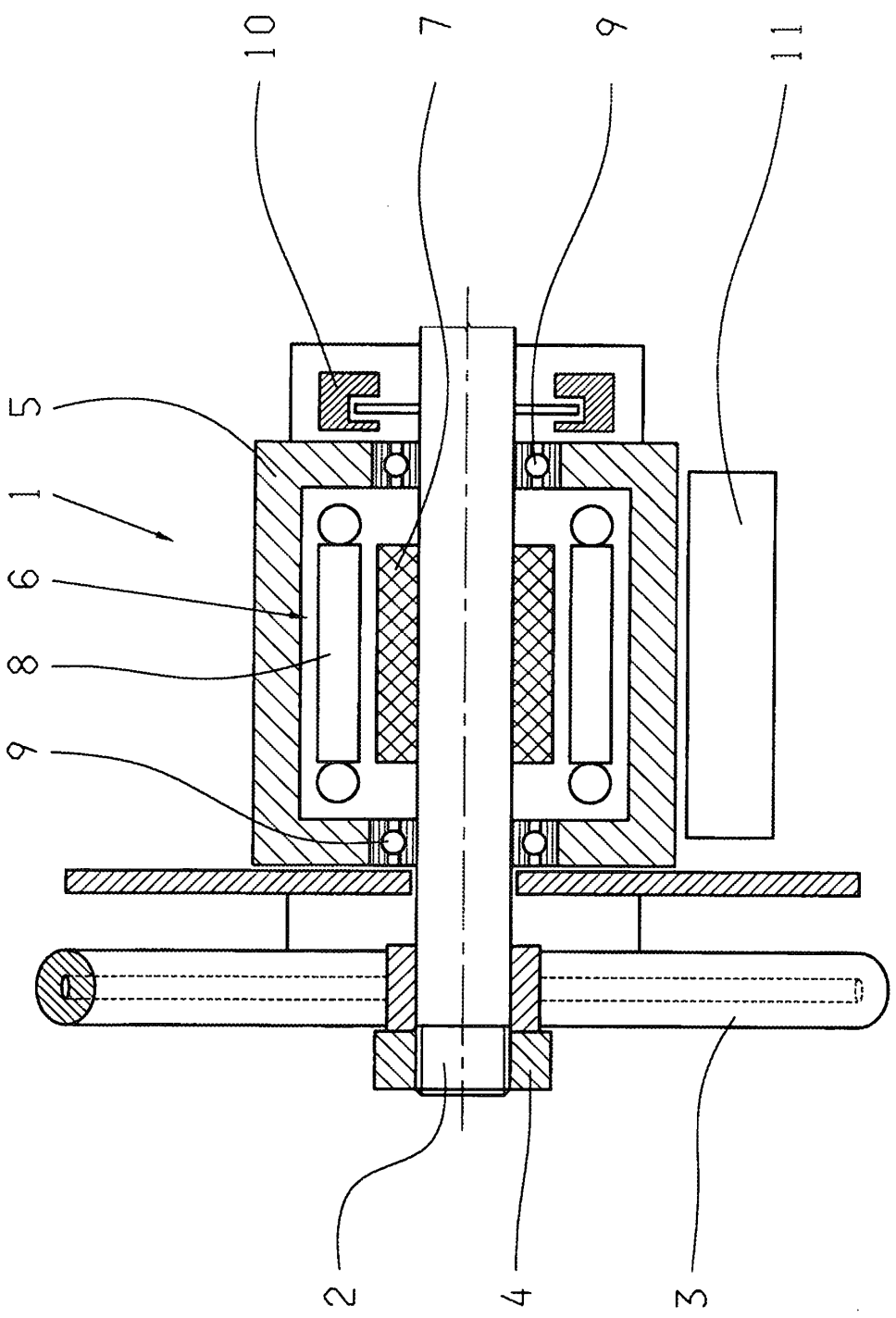


Fig. 1

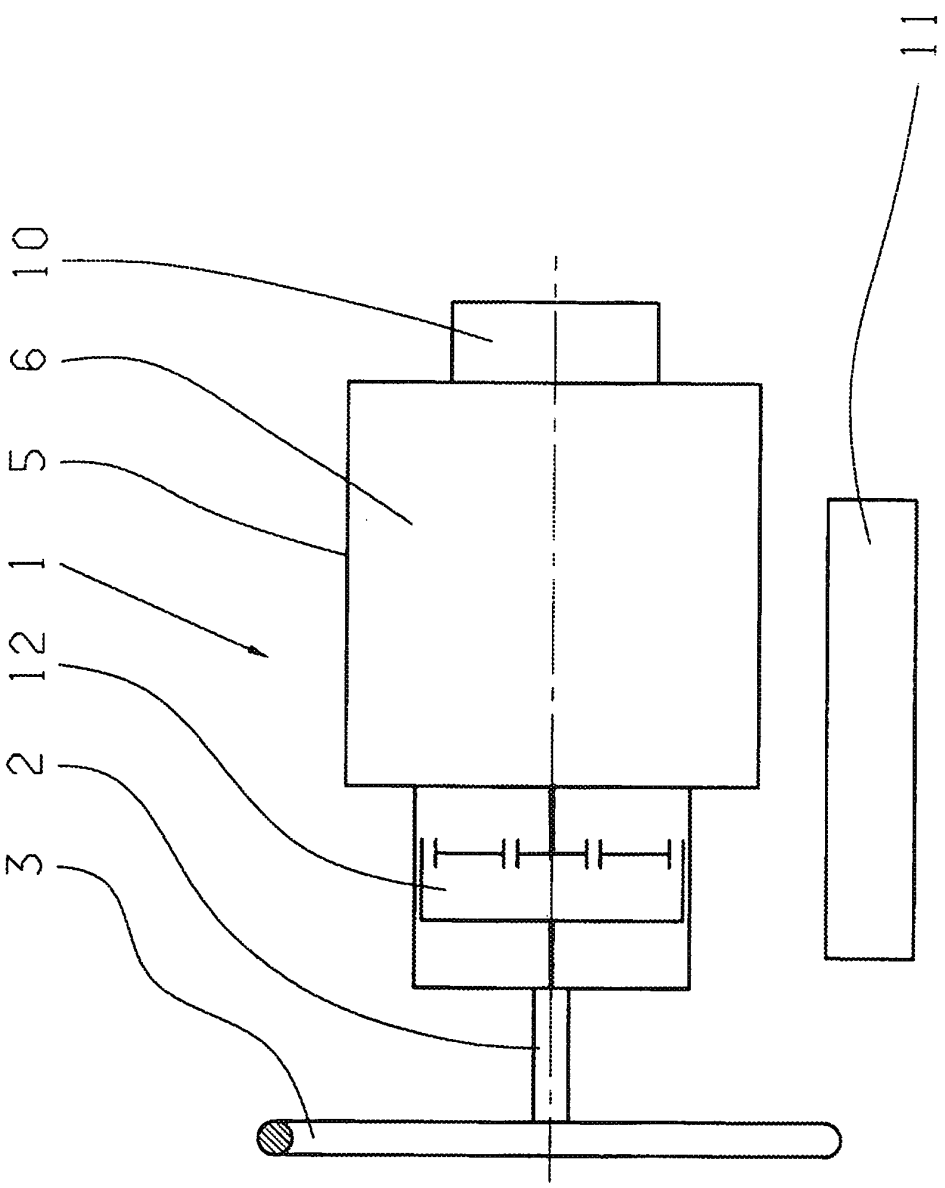


Fig. 2

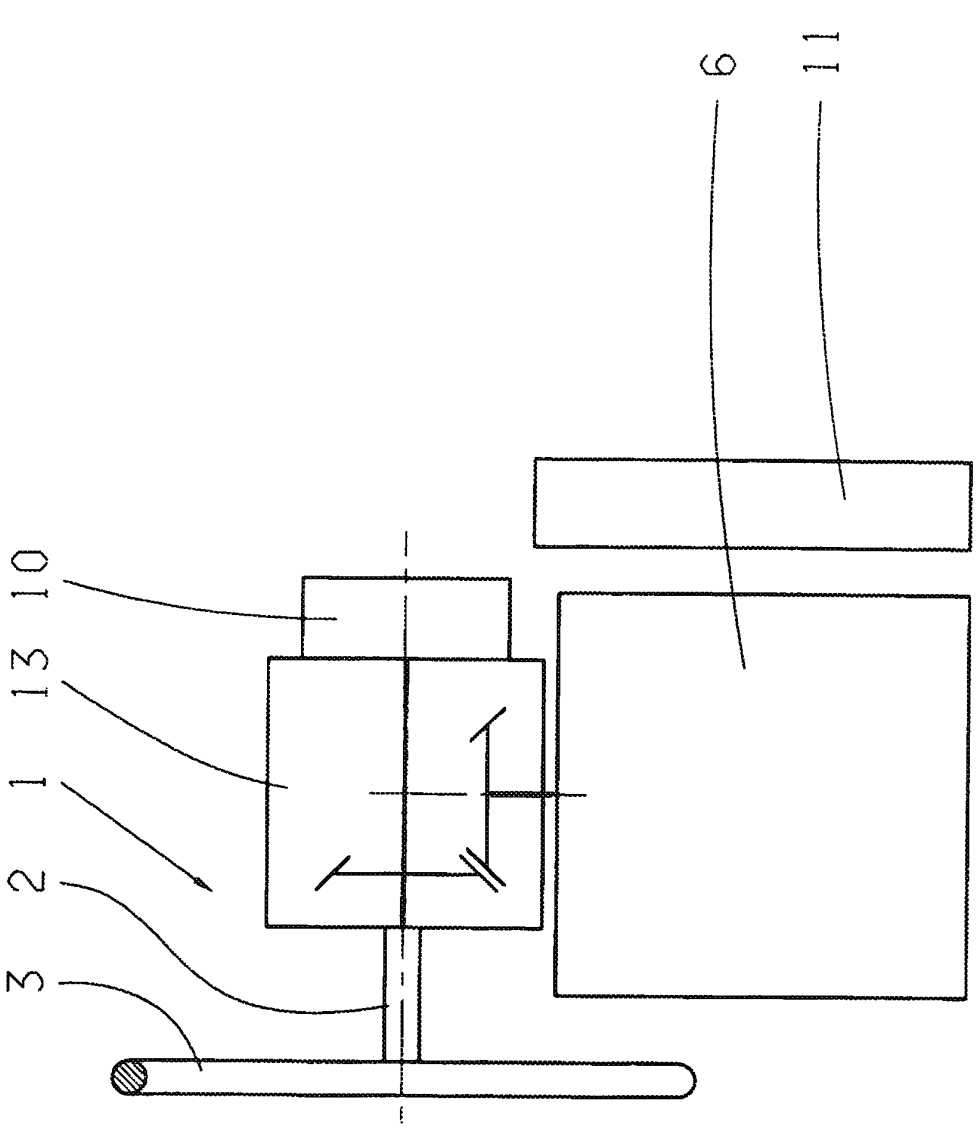


Fig. 3

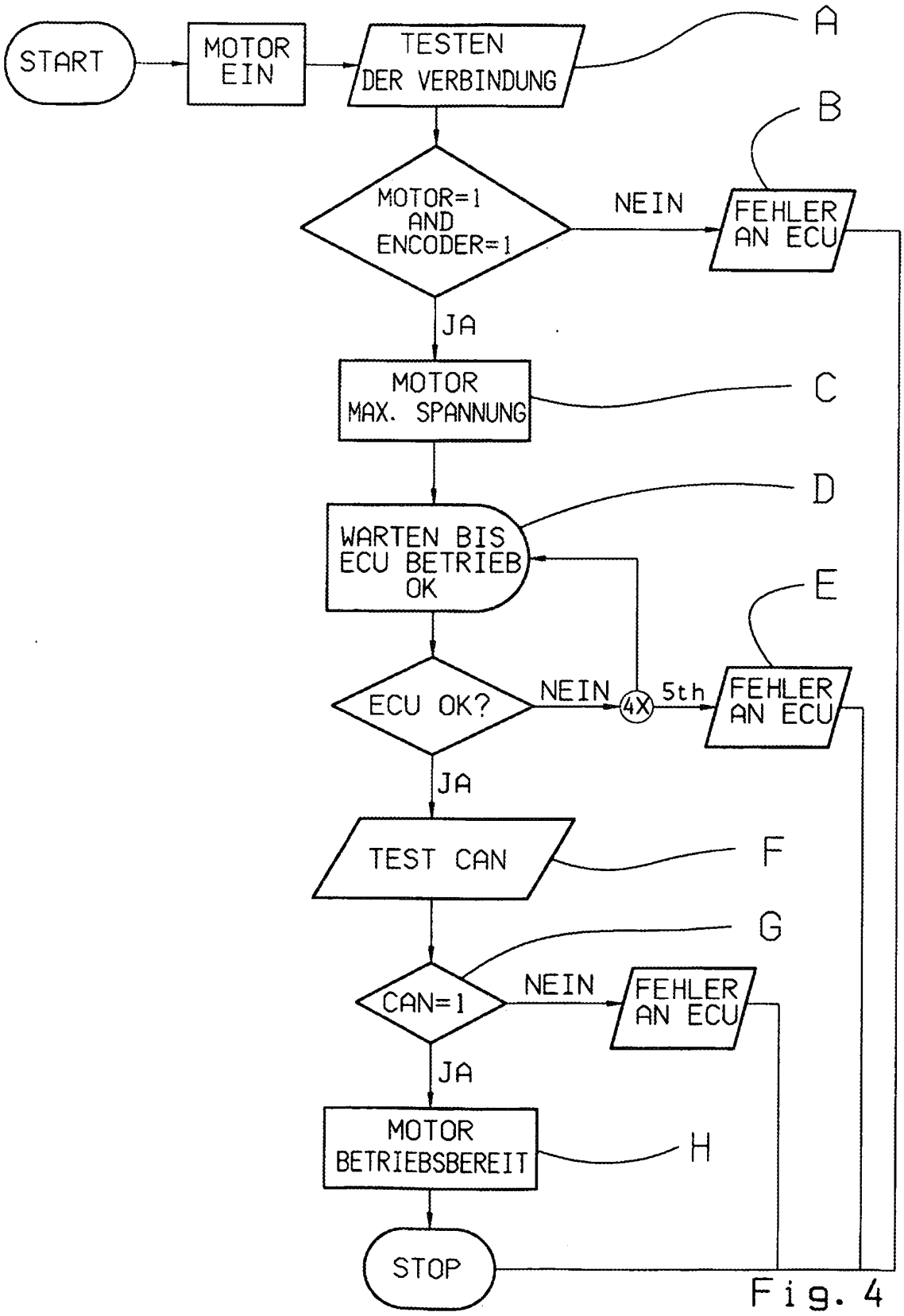

START
MOTOR EIN
TESTEN DER VERBINDUNG
A
B
MOTOR=1 AND ENCODER=1
NEIN
FEHLER AN ECU
JA
MOTOR MAX. SPANNUNG
C
D
WARTEN BIS ECU BETRIEB OK
E
ECU OK?
NEIN
4X
5th
FEHLER AN ECU
JA
TEST CAN
F
G
CAN=1
NEIN
FEHLER AN ECU
JA
MOTOR BETRIEBSBEREIT
H
STOP

Fig. 4

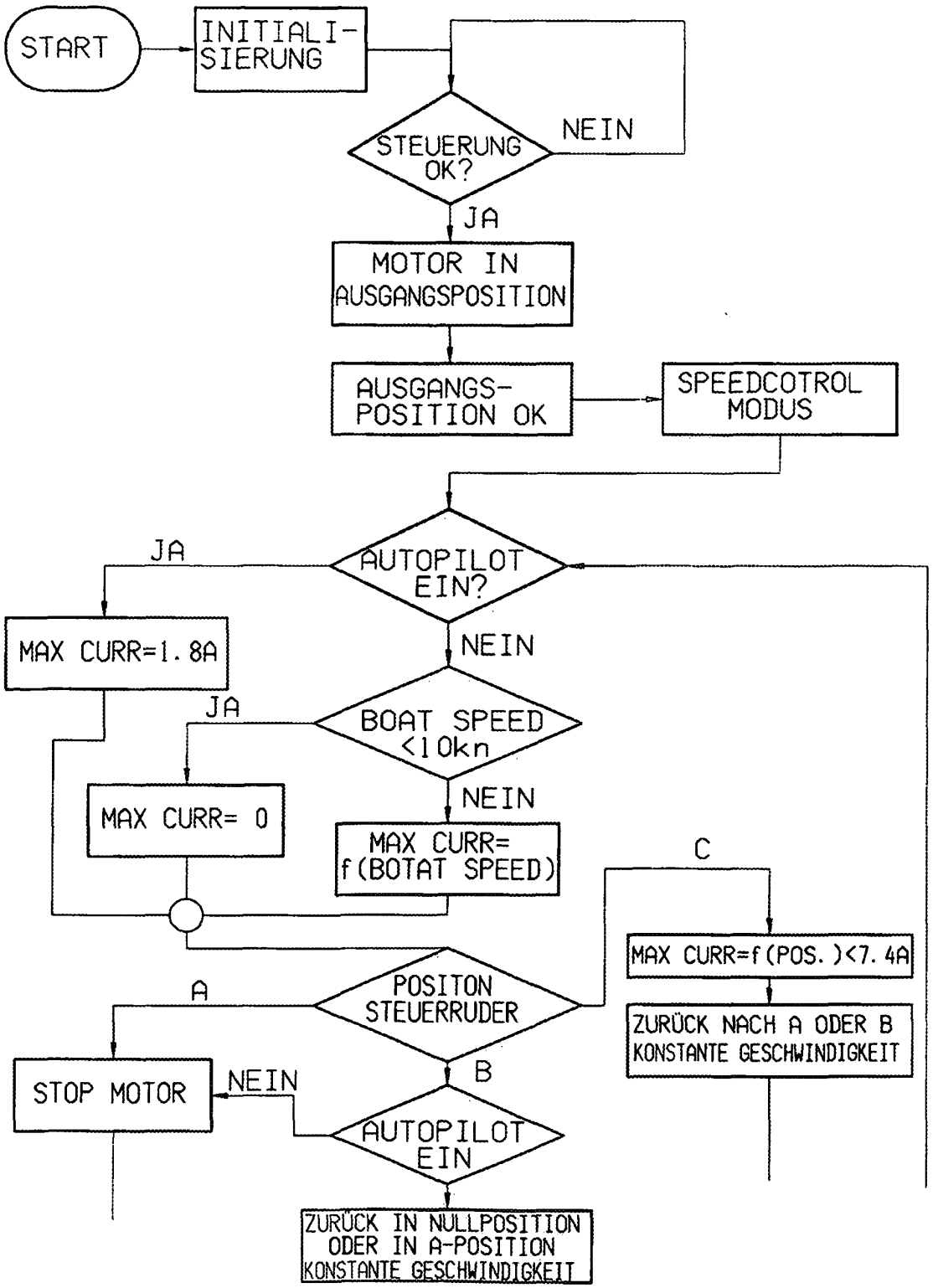

START
INITIALI-SIERUNG
STEUERUNG OK?
NEIN
JA
MOTOR IN AUSGANGSPOSITION
AUSGANGS-POSITION OK
SPEEDCOTROL MODUS
AUTOPILOT EIN?
JA
NEIN
MAX CURR=1.8A
BOAT SPEED <10kn
JA
NEIN
MAX CURR= 0
MAX CURR= f(BOTAT SPEED)
C
MAX CURR=f(POS.)<7.4A
ZURÜCK NACH A ODER B KONSTANTE GESCHWINDIGKEIT
POSITON STEUERRUDER
A
B
STOP MOTOR
NEIN
AUTOPILOT EIN
ZURÜCK IN NULLPOSITION ODER IN A-POSITION KONSTANTE GESCHWINDIGKEIT

Fig. 5

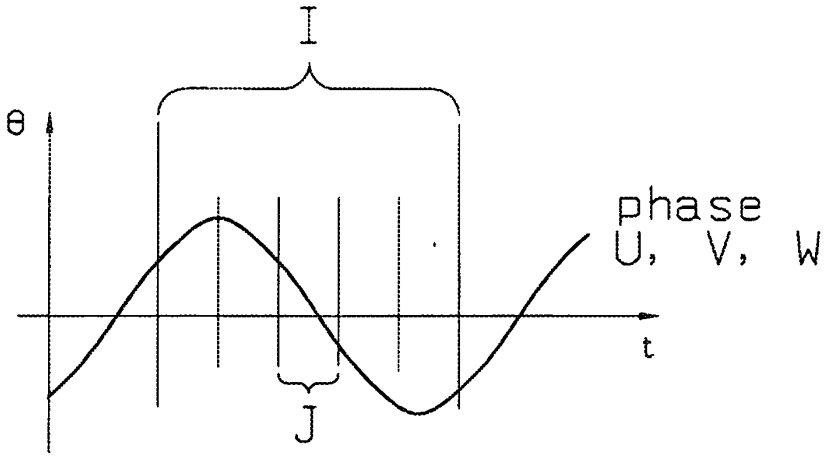


Fig. 6

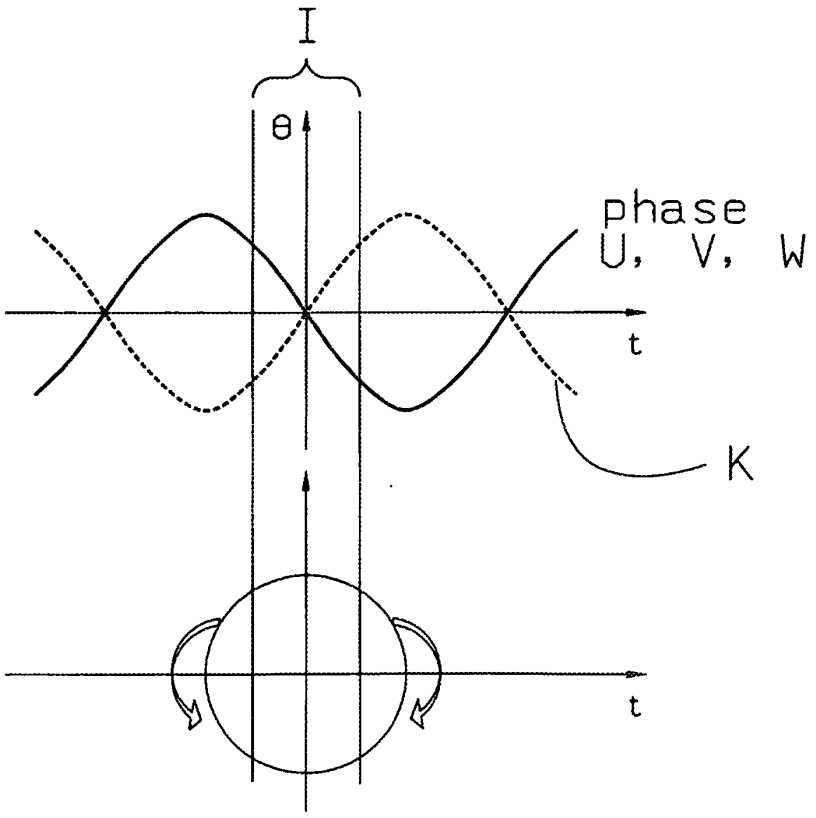


Fig. 7

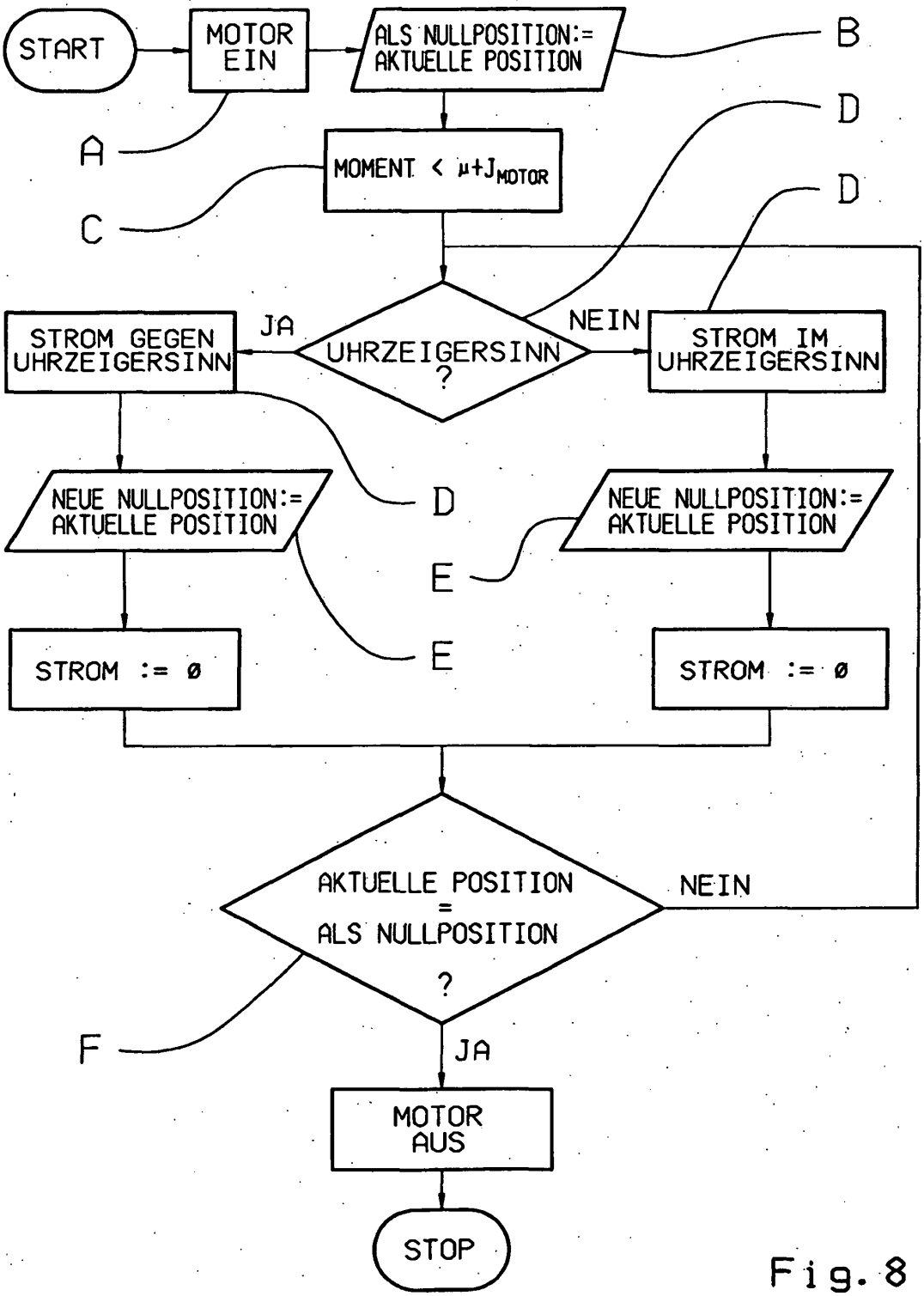

START
MOTOR EIN
ALS NULLPOSITION:= AKTUELLE POSITION
B
A
MOMENT < μ+J_MOTOR
C
D
D
STROM GEGEN UHRZEIGERSINN
JA
UHRZEIGERSINN ?
NEIN
STROM IM UHRZEIGERSINN
NEUE NULLPOSITION:= AKTUELLE POSITION
D
NEUE NULLPOSITION:= AKTUELLE POSITION
E
STROM := ø
E
STROM := ø
AKTUELLE POSITION = ALS NULLPOSITION ?
NEIN
F
JA
MOTOR AUS
STOP

Fig. 8

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 20070068438 A1 **[0001]**
- US 6431928 B1 **[0004]**
- US 7137347 B2 **[0005]**
- EP 1770008 A2 **[0006]**
- US 6843195 B2 **[0008]**