



(11) **EP 2 202 145 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
15.08.2012 Patentblatt 2012/33

(51) Int Cl.:
B63H 21/17^(2006.01) B63H 23/26^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **09014924.6**

(22) Anmeldetag: **02.12.2009**

(54) **Diagnose von Schiffsantrieben**

Diagnosis of ship drives

Diagnose d'entraînements navals

(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 MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **03.12.2008 DE 202008016040 U**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
30.06.2010 Patentblatt 2010/26

(73) Patentinhaber: **Christophel, Claus-D. 23743 Grömitz (DE)**

(72) Erfinder:
• **Vetter, Thomas**
73547 Lorch (DE)
• **Speer, Rolf**
73527 Schwäbisch Gmünd (DE)

(74) Vertreter: **Ruckh, Rainer Gerhard**
Fabrikstrasse 18
73277 Owen/Teck (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A1-96/01522 DE-A1- 4 213 635
DE-A1- 4 430 409 DE-A1- 10 309 420

EP 2 202 145 B1

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).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Antriebssystem für ein Schiff.

[0002] Derartige Schiffe weisen generell wenigstens einen Propeller auf, der über eine Antriebswelle von einem Antrieb, typischerweise einem Dieselantrieb angetrieben ist. Bei größeren Schiffen wie Frachtschiffen und dergleichen sind mehrere Propeller vorgesehen, die mit einem oder mehreren Dieselantriebsaggregaten angetrieben werden.

[0003] Die Antriebssysteme derartiger Schiffe werden hinreichend groß in ihre Leistungen dimensioniert, um auch bei wechselnden äußeren Einflüssen einen sicheren Betrieb zu gewährleisten.

[0004] Ein Problem bei derartigen Systemen besteht jedoch darin, dass die Ursachen für Reduzierungen der Leistung oder sogar Ausfällen von Komponenten des Antriebssystems nicht klar rückverfolgbar sind. Erst recht fehlt es an einer Optimierung des Antriebssystems im Hinblick auf derartige Einflussgrößen.

[0005] Ein Antriebssystem mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1 ist aus der DE 44 30 409 A1, die als nächstliegender Stand der Technik angesehen wird, bekannt. Dort ist eine Anordnung zur Optimierung des Wirkungsgrades bei Schiffen mit Bug- und Heckpropeller, insbesondere bei Fährschiffen beschrieben, wobei die Drehzahl des vorderen Propellers jeweils niedriger als die Drehzahl des hinteren Propellers ist. Zur Wirkungsgrad-Optimierung erfolgt eine Minimalwertregelung der Summe der aufgenommenen Wirkleistungen beider Antriebssysteme.

[0006] Die WO 96/01522 A1 beschreibt ein Antriebssystem mit einem Asynchronmotor, der in einer Anlage, beispielsweise an einer Förderanlage, eingesetzt wird. Durch Messung von Kenngrößen des Antriebs wie Strom und Spannung wird der aktuelle Drehmomentbedarf für die zu steuernde Anlage errechnet.

[0007] Die DE 103 09 420 A1 betrifft einen Schiffsantrieb mit einem elastisch aufgestellten Getriebe, dessen Abtriebswelle in einem Axiallager mit starr aufgestelltem Lagergehäuse geführt ist.

[0008] Mit dem Antrieb wird ein Kolben betätigt, der Hydraulikflüssigkeit führt. Durch Messung des Hydraulikdrucks wird ein Maß für den Druck auf einen Propeller abgeleitet.

[0009] Die DE 42 13 635 A1 betrifft ein Steuergerät für einen Außenbord-Schiffsmotor, der eine Antriebsschraube treibt. Mittels eines Blasensensors werden an der Antriebsschraube entstehende Blasen als Maß für entstehende Kavitation detektiert. Wird eine bestimmte Menge an Blasen detektiert, wird die Geschwindigkeit des Schiffes begrenzt.

[0010] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde ein Antriebssystem für ein Schiff bereitzustellen, bei welchem für den Wirkungsgrad des Schiffes relevante Größen bestimmbar sind.

[0011] Zur Lösung dieser Aufgabe sind die Merkmale des Anspruchs 1 vorgesehen. Vorteilhafte Ausführungsformen und zweckmäßige Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen beschrieben.

[0012] Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Antriebssystems besteht im Einsatz von elektrischen Antrieben, die insbesondere als Synchron- oder Asynchronmotoren ausgebildet sein können. Mit diesen elektrischen Antrieben kann schnell und präzise auf sich ändernde externe Randbedingungen reagiert werden, wodurch einerseits gezielt der Wirkungsgrad des Antriebssystems optimiert werden kann und andererseits ein wirtschaftlicher, das heißt kostensparender Betrieb gewährleistet ist.

[0013] Ein weiterer wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Antriebssystems besteht darin, dass eine umfangreiche Diagnose zur Ermittlung von Störungen und Beeinträchtigungen des Antriebssystems möglich ist, was eine wesentliche Voraussetzung für eine Optimierung des Antriebssystems ist.

[0014] Besonders vorteilhaft hierbei ist, dass in dem oder in den elektrischen Antrieben des Antriebssystems selbst Mittel zur Diagnose integriert sind, in dem zum einen Antriebskenngrößen wie die Propeller-Drehzahl oder die Propeller-Position sensorlos im elektrischen Antrieb detektierbar sind. Im Sinne der vorliegenden Erfindung bedeutet eine sensorlose Bestimmung der Position des Antriebs beziehungsweise der Antriebswelle, dass hierfür kein separater Positionsgeber benötigt wird. Vielmehr erfolgt die Positionsbestimmung, und daraus angeleitet die Drehzahlbestimmung derart, dass im elektrischen Antrieb der Verlauf der Ströme und Spannungen und des Rotorwinkels des Rotors dieses Antriebs ausgewertet werden. Hierzu können im Antrieb geeignete Stromsensoren und dergleichen integriert sein. Zudem können weitere Antriebskenngrößen wie das Propeller-Drehmoment bestimmt werden, wobei hierzu der Motorstrom als Messgröße dienen kann.

[0015] Ein weiterer wesentlicher Vorteil der Erfindung besteht darin, dass bei dem Antriebssystem gezielt die Entstehung von Kavitation und auch die Intensität von Kavitation an dem oder den Propellern detektiert werden kann und weiterhin auch durch Kavitation bedingte Beschädigungen des oder der Propeller analysiert werden können.

[0016] Bei einem Propeller, der stets eine Druckseite und eine Saugseite aufweist, entsteht eine Kavitation an der Saugseite. Dort ist der Druck umso geringer je höher die Geschwindigkeit der Propellerblätter relativ zur Wassergeschwindigkeit ist. Ist der Druck hinreichend gering, verdampft partiell das Wasser und es bilden sich Dampfblasen. Diese Dampfblasen wandern in spiralförmigen Bahnen an den Propellerblättern entlang bis sie in einem Bereich höheren Drucks eintreten, wo sie spontan implodieren. Falls diese Implosion unmittelbar im Bereich der Propellerblätter erfolgt, kann dies zu Beschädigungen der Oberflächen der Propellerblätter führen mit Kavitationserosion als Folge.

[0017] Durch die in dem oder in den elektrischen Antrieben bestimmten Antriebskenngrößen sowie durch den Einsatz weiterer Messgeber, insbesondere Strömungsmesser, können als Kenngrößen des Propellers die Propeller-Beiwerte,

nämlich der Drehmomentenbeiwert, Schubbeiwert und Propellerwirkungsgrad, in Abhängigkeit der Fortschrittsziffer bestimmt werden.

[0018] Durch eine Modulation der Fortschrittsziffer, die durch eine Änderung der Propeller-Drehzahl erhalten werden kann, werden die Propeller-Beiwerte geändert. Durch eine Analyse des Grads der Änderung der Propeller-Beiwerte kann exakt die Entstehung von Kavitation beziehungsweise die Intensität von Kavitation diagnostiziert werden.

[0019] Weiterhin kann ein durch Kavitation bedingter Verschleiß des Propellers durch wiederholte, auf Referenzmessungen bezogene Messungen der Propeller-Beiwerte bestimmt werden.

[0020] Schließlich kann eine Kavitation am Propeller durch eine frequenzselektive Auswertung des Frequenzspektrums des Propeller-Drehmoments oder der Propeller-Drehzahl nachweisbar sein.

[0021] Dieser Messung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass die bei vorliegender Kavitation erfolgenden Implosionen von Dampfblasen eine spezifische Geräuschemission auftritt, welche ein von der Größe der Dampfblasen abhängige, charakteristische Frequenzabhängigkeit aufweist. Bei Annahme kugelförmiger Blasen wird eine spektrale Schallenergie-dichte erhalten, die bis auf ein Maximum mit der vierten Potenz der Frequenz f ansteigt und danach mit $f^{2/5}$ abfällt. Durch die Kavitationsblasen treten bedingt durch die Schallentstehung Druckstörungen auf, die sich im Antriebsmoment oder der Drehzahl des Propellers widerspiegeln. Durch eine frequenzselektive Filterung dieser Signale können damit Informationen über das Auftreten von Kavitation erhalten werden.

[0022] Bei modernen Schiffen wird zur Reduzierung des Widerstandsbeiwerts des Schiffes der Schiffsrumpf mit Luftblasen unterspült. Gelangen diese Luftblasen in den Bereich der Propeller, so wird dadurch der Propellerwirkungsgrad verringert. Durch eine Messung des Propellerwirkungsgrads oder der Vershubkraft des Propellers kann dieser Effekt erfasst werden.

[0023] Eine weitere Diagnosemöglichkeit besteht darin, dass durch eine winkelabhängige Erfassung des Propeller-Drehmoments einzelne defekte Propellerblätter des Propellers nachweisbar sind. Ebenso kann dadurch eine Unwucht des Propellers nachgewiesen werden.

[0024] Diese Diagnosemöglichkeit beruht darauf, dass bei konstanter Propeller-Drehzahl das Drehmoment des Propellers während einer Umdrehung nicht konstant ist, da bedingt durch die Propeller-Geometrie und die Anordnung des Propellers am Heck des Schiffsrumpfes beziehungsweise an einer Halterung für den Propeller oder dem Ruder des Schiffes pro Umdrehung immer jeweils eines der Propellerblätter besonders nahe am Schiffsrumpf oder im Strömungsschatten der Halterung oder des Ruders ist, wodurch die Umströmung dieses Propellerblatts gestört wird, was zu einer Drehmomentschwankung führt. Demzufolge wird eine Schwankung des Drehmoments hauptsächlich mit dem n -fachen Wert der Propeller-Drehzahl erhalten, wobei n die Anzahl der Propellerblätter ist. Diese Drehmomentschwankung ist periodisch, wenn alle Propellerblätter exakt gleich sind. Ist jedoch eines der Propellerblätter defekt, ist diese Periodizität gestört, was mit der winkelaufgelösten Drehmomentmessung detektiert werden kann.

[0025] Das Antriebssystem des Schiffes ist erfindungsgemäß derart ausgebildet, dass mit diesem auch eine Optimierung antriebsrelevanter Kenngrößen durchgeführt werden kann.

[0026] So kann eine Optimierung des mittleren Propellerwirkungsgrads, insbesondere bei sich verändernden äußeren Randbedingungen, erzielt werden. Hierzu wird die Drehzahl des oder jedes Propellers in geeigneter Weise geändert. Durch den erfindungsgemäßen Einsatz von elektrischen Antrieben können derartige Änderungen sehr schnell und sehr präzise durchgeführt werden.

[0027] Weiterhin kann eine Optimierung des Antriebssystems derart erfolgen, dass zur Dämpfung von Schwingungen die Lage oder der Winkel einer oder jeder Antriebswelle, an welcher der oder die Propeller angeordnet sind, veränderbar wird und die Drehzahl des oder der Propeller moduliert wird.

[0028] Mit dieser Maßnahme können sowohl Rollschwingungen um die Längsachse als auch Kippschwingungen um die Querachse des Schiffes gedämpft werden.

[0029] Das erfindungsgemäße Antriebssystem ist generell für Hochseeschiffe und Binnenschiffe einsetzbar. Bei Binnenschiffen mit geringem Tiefgang, die geeignet sind für Fahrten in Gewässern mit geringer Wassertiefe, können die Propeller am Schiff so angeordnet sein, dass ein Teil des Propellerblatts aus dem Wasser herausragt. Während der Fahrt des Schiffes ist dies zwar unkritisch, nicht jedoch während des Anfahrvorgangs aus dem Stillstand des Schiffes heraus. Um dieses Problem zu lösen ist es bekannt, um die Propeller herum käfigförmige Gehäuse vorzusehen, wodurch erreicht werden soll, dass sich gerade auch bei der Anfahrtsphase ein Wasserfilm um die Propeller legt. Problematisch hierbei ist jedoch, dass dies ein erhebliches Geschick und eine große Erfahrung des Führers des Schiffes voraussetzt. Mit dem erfindungsgemäßen Antriebssystem kann ein solcher Anfahrtsvorgang in optimierter Weise reproduzierbar vorgegeben sein. Hierzu werden durch Auswertung und Analyse der für das Antriebssystem ermittelten Antriebskenngrößen, insbesondere in einem Einlernvorgang, die relevanten Parameter für den Anfahrtsvorgang ermittelt und in Form von Kennlinien oder dergleichen hinterlegt. Muss dann ein solcher Anfahrtsvorgang durchgeführt werden, kann dieser durch Abrufen der Parameter sicher und reproduzierbar durchgeführt werden.

[0030] Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

Figur 1: Ausführungsbeispiel eines Antriebssystems für ein Schiff.

Figur 2: Beispiel eines Propellerfreifahrt diagrams für einen Propeller des Antriebssystems gemäß Figur 1.

[0031] Figur 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Antriebssystems 1 für ein Schiff. Das Antriebssystem 1 weist im vorliegenden Fall zwei Propeller 2 auf, wobei jeder Propeller 2 am Ende einer Antriebswelle 3 angeordnet ist. Die Propeller 2 sind in bekannter Weise im Heckbereich des nicht gesondert dargestellten Schiffes angeordnet. Dabei sind die Propeller 2 im Bereich des Schiffsrumpfes nebeneinander in Abstand zueinander angeordnet, wobei die Antriebswellen 3 zumindest annähernd parallel zueinander in Schiffslängsrichtung verlaufen. Die Propeller 2 sind im vorliegenden Fall identisch angeordnet und weisen eine Anordnung von in regelmäßigen Winkeln zueinander angeordneten Propellerblätter 2a auf.

[0032] Zum Antrieb der Propeller 2 ist auf jeder Antriebswelle 3 ein elektrischer Antrieb 4 vorgesehen. Die vorzugsweise identisch ausgebildeten elektrischen Antriebe 4 können als Synchronmotoren oder Asynchronmotoren ausgebildet sein. Wie aus Figur 2 ersichtlich, ist an jeder Antriebswelle 3 zwischen dem elektrischen Antrieb 4 und dem Propeller 2 eine Kupplung 5 vorgesehen. Jedem elektrischen Antrieb 4 ist ein Wechselrichter 6 vorgeordnet.

[0033] Die Spannungsversorgung erfolgt über einen Gleichspannungszwischenkreis 7. Eine im Gleichspannungszwischenkreis 7 zur Verfügung gestellte Gleichspannung wird in den Wechselrichtern 6 in eine Wechselspannung mit einer für die elektrischen Antriebe 4 geeigneten Frequenz umgesetzt.

[0034] Die einzelnen elektrischen Antriebe 4 können über Schalter 8, die von einer nicht dargestellten Steuereinheit gesteuert werden, einzeln durch An- oder Abkoppeln vom Gleichspannungszwischenkreis 7 aktiviert oder deaktiviert werden.

[0035] Zur Generierung der Zwischenspannung im Gleichspannungszwischenkreis 7 ist ein Generator 9 vorgesehen. Der Generator 9 besteht aus einem Dieselmotor und einem elektrischen Generator 9. Dem Generator 9 ist ein Wechselrichter 10 nachgeordnet. Mit dem Wechselrichter 10 werden in dem Generator 9 generierte Wechselspannungen in eine Gleichspannung transformiert und in den Gleichspannungszwischenkreis 7 eingespeist. Der Generator 9 ist über einen Schalter 11 dem Gleichspannungszwischenkreis 7 zuschaltbar. Die Steuerung des Schalters 11 erfolgt wieder über die Steuereinheit.

[0036] Zu Zwecken der Diagnose und der Optimierung des Antriebssystems 1 sind in den elektrischen Antrieben 4 zur Erfassung von Antriebskenngrößen vorgesehen. Dabei erfolgt in einem elektrischen Antrieb 4 in bekannter Weise eine sensorlose oder sensorbehaftete Positions- und Drehzahlbestimmung, wodurch die Propeller-Drehzahl bestimmt ist. Durch Messung der Motorströme mittels in den elektrischen Antrieben 4 integrierten Messgebern kann unter Verwendung eines geeigneten Motormodells das Propeller-Drehmoment des jeweiligen Propellers 2 bestimmt werden.

[0037] Als weiterer Einflussparameter wird die Anströmgeschwindigkeit eines Propellers 2 durch Einsatz eines nicht dargestellten Strömungsmessers bestimmt.

[0038] Weiterhin wird auch die Vorschubkraft, das heißt die Kraft des Antriebssystems 1 bestimmt. Die Vorschubkraft entspricht der Summe der mit dem Antriebssystem 1 erzeugten Beschleunigungskraft und der auf das Schiff wirkenden Reibungskraft. Die Reibungskraft wird als Reibungstabelle, vorzugsweise empirisch ermittelt, und zwar in Form von Reibungskraftwerten in Abhängigkeit der Geschwindigkeit, Zuladung des Schiffes und der Wassertemperatur hinterlegt. Zur Ermittlung der Beschleunigungskraft wird bei bekannter Schiffsmasse die Beschleunigung des Schiffes ermittelt. Dies kann dadurch erfolgen, dass mit dem Strömungssensor die Änderung der Anströmgeschwindigkeit erfasst wird. Weiterhin kann durch eine Modulation der Propeller-Drehzahl eine Modulation der Beschleunigung bewirkt werden, die dann durch geeignete Messgeräte wie Strömungsmesser bestimmt werden kann.

[0039] Anhand der so bestimmten Messgrößen können die einen Propeller 2 kennzeichnenden Größen, die sogenannten Propeller-Beiwerte bestimmt werden. Ein Propeller 2 wird durch den Schubbeiwert, den Drehmomentenbeiwert und den Propellerwirkungsgrad als Propeller-Beiwerte charakterisiert. Dabei werden die Eigenschaften eines Propellers 2 in einer homogenen Zuströmung in einem Propeller-Freifahrt diagramm wie in Figur 2 dargestellt, charakterisiert. In diesem Propeller-Freifahrt diagramm sind die Propeller-Beiwerte in Abhängigkeit der sogenannten Fortschrittsziffer aufgetragen.

[0040] Der Schubbeiwert k_T ist dabei definiert als

$$k_T = T / (\rho \cdot n^2 \cdot D^4)$$

[0041] Der Drehmomentenbeiwert k_M ist gegeben durch

$$k_M = M_0 / (\rho \cdot n^2 \cdot D^5)$$

[0042] Der Propellerwirkungsgrad η_0 ist definiert als

$$\eta_0 = (J / (2 \cdot \pi)) \cdot k_T / k_M = v_a \cdot T / (2 \cdot \pi \cdot n \cdot M_0)$$

[0043] Die Fortschrittsziffer J ist definiert als

$$J = v_a / (n \cdot D)$$

[0044] Wie aus Figur 2 ersichtlich, hat der Propellerwirkungsgrad ein Maximum bei einer bestimmten Fortschrittsziffer, Schubbeiwert und der Drehmomentenbeiwert fallen dagegen monoton mit der Fortschrittsziffer ab.

[0045] Durch eine Analyse dieser Propeller-Beiwerte kann das Auftreten von Kavitation aus den Propellern 2 erfasst werden. Beim Auftreten von Kavitation findet eine abrupte Änderung der Propeller-Beiwerte statt, wobei sich insbesondere der Propellerwirkungsgrad verringert.

[0046] Dies kann ausgenutzt werden, um die Kavitationsentstehung von anderen Einflüssen selektiv zu trennen. Durch Modulation der Fortschrittsziffer und Bestimmung der dadurch induzierten Änderung der Propeller-Beiwerte ergibt sich eine deutlich größere Beiwertsänderung, wenn die Modulation im Bereich der Kavitationsentstehung liegt. Zur Modulation der Fortschrittsziffer wird beispielsweise die Propeller-Drehzahl während einer kurzen Zeit erhöht und wieder erniedrigt. Dies führt zu einer entsprechenden Modulation der Fortschrittsziffer J sowie entsprechend des Propeller-Freifahrt-
diagramms zu einer Modulation der Propellerbeiwerte. Wenn beispielsweise bei der höheren Propeller-drehzahl im Ge-
gensatz zur kleineren Drehzahl Kavitation auftritt, ist die Änderung des Wirkungsgrades (beziehungsweise der andere
Propeller-Beiwerte) größer, als wenn bei beiden Drehzahlen keine Kavitation auftritt.

[0047] Mit zunehmender Betriebsdauer entsteht an den Propellerblättern 2a, durch Kavitationseinflüsse, ein fortschrei-
tender Verschleiß. Durch die aufgeraute Propellerblattoberfläche, Dellen im Profil, abgeplatzte makroskopische Werk-
stoffteile verändern sich die hydrodynamischen Eigenschaften des Propellers 2. Dies bedeutet auch im allgemeinen
einen schlechteren Propellerwirkungsgrad, der Schubbeiwert wird tendenziell kleiner, der Drehmomentenbeiwert ten-
denziell größer. Durch in regelmäßigen Abständen stattfindende Referenzmessungen der Propeller-Beiwerte kann so
ein langsamer Verschleiß quantitativ erfasst werden. Vorteilhaft ist eine Bestimmung des Freifahrt-
diagramms während des Betriebs eines Schiffs.

[0048] Die Kenndaten des Propeller-Freifahrt-
diagramms gemäß Figur 2 können auch für eine fortlaufende Optimierung
des Propellerwirkungsgrads genutzt werden. Wie aus Figur 2 ersichtlich, hat der Propellerwirkungsgrad bei einer vor-
gegebenen Fortschrittsziffer ein Maximum. Die Fortschrittsziffer, bei der das Maximum des Propellerwirkungsgrads liegt,
ist abhängig von wechselnden Umgebungsbedingungen. So ist diese Fortschrittsziffer abhängig davon, ob das Schiff
stromaufwärts oder stromabwärts fährt oder auch abhängig von der Wassertiefe und dergleichen. Werden derartige
Einflussgrößen in einem Kennlinienfeld erfasst, so kann unter Verwendung des Kennlinienfelds durch eine Drehzahl-
änderung des oder der Propeller 2 die Fortschrittsziffer so eingestellt werden, dass Propellerwirkungsgrad sein Maximum
annimmt. Alternativ kann der Propellerwirkungsgrad auch derart optimiert werden, dass dieser zunächst bei mehreren
leicht unterschiedlichen Fortschrittsziffern bestimmt wird (was einer Modulation der Fortschrittsziffer entspricht). Dann
wird die Drehzahl so geändert, dass sich die Fortschrittsziffer in Richtung eines höheren Wirkungsgrads bewegt.

[0049] Da die Propeller 2 des Schiffs mit elektrischen Antrieben 4 angetrieben werden, können die erforderlichen
Drehzahländerungen sehr schnell und sehr präzise durchgeführt werden.

Bezugszeichenliste

[0050]

- (1) Antriebssystem
- (2) Propeller
- (2a) Propellerblatt
- (3) Antriebswelle
- (4) elektrischer Antrieb
- (5) Koppelung
- (6) Wechselrichter
- (7) Gleichspannungszwischenkreis
- (8) Schalter

- (9) Generator
- (10) Wechselrichter
- (11) Schalter

5

Patentansprüche

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1. Antriebssystem für ein Schiff mit wenigstens einem Propeller, wobei der Propeller (2) von wenigstens einem elektrischen Antrieb (4) angetrieben ist, wobei Mittel zur Diagnose und/oder Optimierung antriebsrelevanter Kenngrößen vorgesehen sind, wobei zur dass zur Diagnose im elektrischen Antrieb (4) der Verlauf der Ströme und Spannungen sowie der Rotorwinkel dieses elektrischen Antriebs ausgewertet werden, wodurch die Propeller-Position und die Propeller-Drehzahl bestimmt werden, wobei ein Messgeber zur Bestimmung des Motorstroms des Propeller-Drehmoments vorgesehen ist, wobei zur Bestimmung der Anströmgeschwindigkeit des Propellers (2) ein Strömungsmesser vorgesehen ist, und wobei durch eine Modulation der Propeller-Drehzahl und durch einen Kraftsensor am Lager des oder jedes Propellers (2) die Rückstoßkraft des oder jedes Propellers (2) erfassbar ist.
2. Antriebssystem nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch eine Modulation der Propeller-Drehzahl und/oder mittels des Strömungsmessers die Beschleunigung des Schiffs und daraus die Vorschubkraft des Schiffs bestimmbar ist.
3. Antriebssystem nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Mittel zur Diagnose antriebsrelevanter Kenngrößen Mittel zur Detektion von Kavitation beziehungsweise deren Intensität am Propeller (2) vorgesehen sind, wobei zur Detektion von Kavitation am Propeller (2) beziehungsweise deren Intensität eine messtechnische Bestimmung von Propeller-Beiwerten in Abhängigkeit der Fortschrittsziffer erfolgt.
4. Antriebssystem nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Propeller-Beiwerte vom Schubbeiwert, Drehmomentbeiwert und Propellerwirkungsgrad gebildet sind, wobei diese und die Fortschrittsziffer durch die messtechnische Erfassung des Propeller-Drehmoments, der Propeller-Drehzahl, der Anströmgeschwindigkeit und der Vorschubkraft des Propellers (2) bestimmbar sind.
5. Antriebssystem nach einem der Ansprüche 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kavitationsentstehung oder die Intensität von Kavitation durch Auswertung der Änderung der Propeller-Beiwerte auf eine Modulation der Fortschrittsziffer detektierbar ist, wobei die Fortschrittsziffer durch eine Änderung der Propeller-Drehzahl modulierbar ist.
6. Antriebssystem nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei einer Unterspülung des Schiffsrumpfs mit Luftblasen durch Messung des Propellerwirkungsgrads oder der Vorschubkraft des Propellers (2) bestimmbar ist, ob die Luftblasen in den Bereich des Propellers (2) gelangen.
7. Antriebssystem nach einem der Ansprüche 3 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kavitation am Propeller (2) durch eine frequenzselektive Auswertung des Frequenzspektrums des Propeller-Drehmoments oder der Propeller-Drehzahl nachweisbar ist.
8. Antriebssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch eine winkelabhängige Erfassung des Propeller-Drehmoments einzelne defekte Propellerblätter (2a) des Propellers (2) oder eine Unwucht des Propellers (2) nachweisbar sind.
9. Antriebssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Dämpfung von Schwingungen die Lage oder der Winkel einer oder jeder Antriebswelle (3), an welcher der oder die Propeller (2) angeordnet sind, veränderbar ist und/oder die Drehzahl des oder der Propeller (2) modulierbar ist.
10. Antriebssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Optimierung des Propellerwirkungsgrads die Drehzahl des Propellers (2) in Abhängigkeit sich ändernder Randbedingungen änderbar ist.
11. Antriebssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die elektrischen Antriebe (4) von Synchronmotoren oder Asynchronmotoren gebildet sind.

Claims

- 5 1. Drive system for a ship with at least one propeller, wherein the propeller (2) is driven by at least one electric drive (4), wherein means for diagnosis and/or optimisation of drive-relevant variables are provided, wherein the plot of the currents and voltages as well as the rotor angle of this electric drive are evaluated for diagnosis in the electric drive (4), whereby the propeller position and the propeller rotational speed are determined, wherein a measurement transmitter for determination of the motor current of the propeller torque is provided, wherein a current meter is provided for determination of the incident flow velocity of the propeller (2) is provided and wherein the reaction force of the or each propeller (2) is detectable by a modulation of the propeller rotational speed and by a force sensor at the bearing of the or each propeller (2).
10
2. Drive system according to claim 1, **characterised in that** the acceleration of the ship and from that the thrust force of the ship is determinable by modulation of the propeller rotational speed and/or by means of the flow meter.
- 15 3. Drive system according to one of claims 1 and 2, **characterised in that** means for detection of cavitation or the intensity thereof at the propeller (1) are provided as means for diagnosis of drive-relevant variables, wherein a determination by measurement of propeller correction values is carried out in dependence on the advance coefficient for detection of cavitation at the propeller (2) or the intensity thereof.
- 20 4. Drive system according to claim 3, **characterised in that** the propeller correction values are formed from the thrust correction value, torque correction value and propeller efficiency, wherein these and the advance coefficient are determinable by measurement detection of the propeller torque, the propeller rotational speed, the incident flow velocity and the thrust force of the propeller (2).
- 25 5. Drive system according to one of claims 3 and 4, **characterised in that** occurrence of cavitation or the intensity of cavitation is detectable by evaluation of the change in the propeller correction values on a modulation of the advance coefficient, wherein the advance coefficient can be modulated by a change in the propeller rotational speed.
- 30 6. Drive system according to claim 5, **characterised in that** in the case of underwashing of the ship hull by air bubbles it is determinable through measurement of the propeller efficiency or the thrust force of the propeller (2) whether the air bubbles pass into the region of the propeller (2).
- 35 7. Drive system according to any one of claims 3 to 6, **characterised in that** a cavitation at the propeller (2) can be evidenced by frequency-selective evaluation of the frequency spectrum of the propeller torque or the propeller rotational speed.
- 40 8. Drive system according to any one of claims 1 to 7, **characterised in that** individual defective propeller blades (2a) of the propeller (2) or an imbalance of the propeller (2) can be evidenced by an angle-dependent detection of the propeller torque.
9. Drive system according to any one of claims 1 to 8, **characterised in that** for damping oscillations the position or the angle of a or each drive shaft (3), at which the propeller or propellers (2) is or are arranged, is variable and/or the rotational speed of the or each propeller (2) can be modulated.
- 45 10. Drive system according to any one of claims 1 to 9, **characterised in that** the rotational speed of the propeller (2) is variable in dependence on changing boundary conditions in order to optimise the propeller efficiency.
- 50 11. Drive system according to any one of claims 1 to 10, **characterised in that** the electric drives (4) are formed by synchronous motors or asynchronous motors.

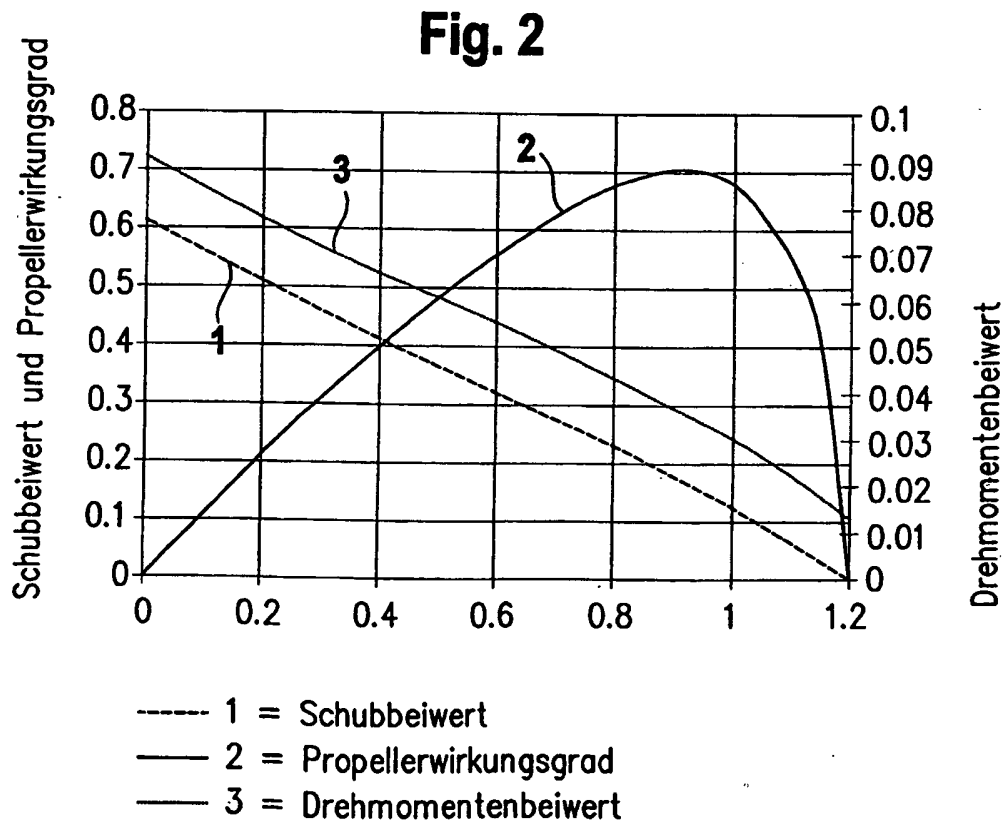
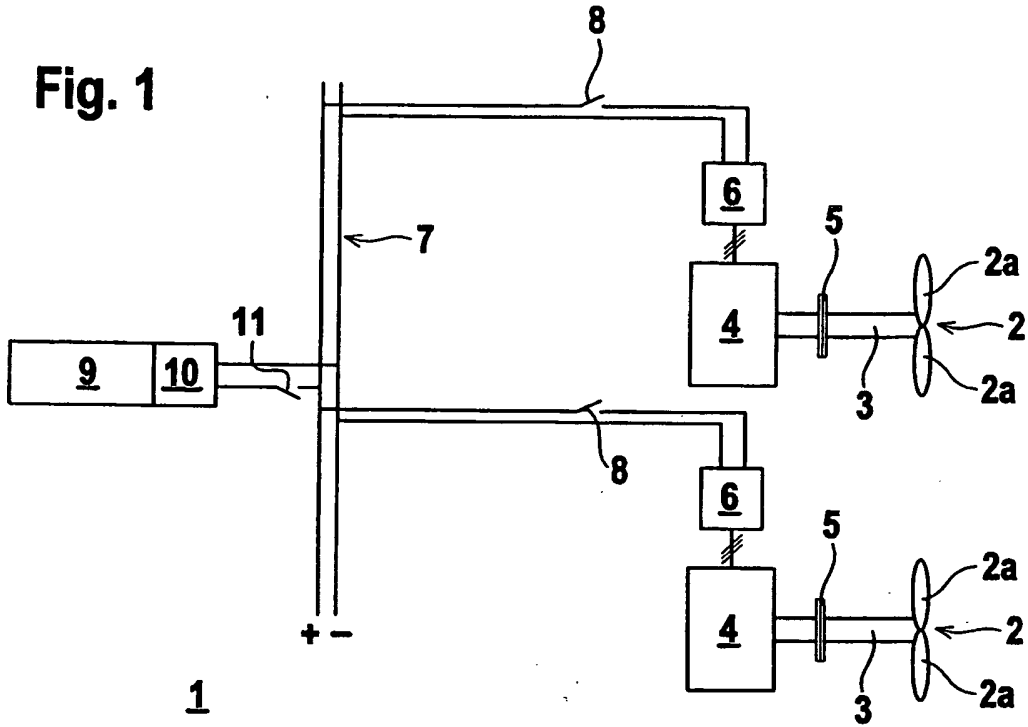
Revendications

- 55 1. Système d'entraînement pour un bateau, comprenant au moins une hélice propulsive, sachant que l'hélice propulsive (2) est entraînée par au moins un entraînement électrique (4), sachant que des moyens sont prévus pour le diagnostic et/ou l'optimisation de grandeurs caractéristiques relatives à l'entraînement, sachant que pour le diagnostic, on évalue dans l'entraînement électrique (4) l'allure des courants et des tensions électriques ainsi que l'angle de rotor de cet entraînement électrique, de sorte qu'on détermine la position de l'hélice propulsive et la vitesse de rotation

EP 2 202 145 B1

de l'hélice propulsive, sachant qu'un transmetteur de mesure est prévu pour déterminer le courant de moteur du couple de rotation de l'hélice propulsive, sachant qu'un appareil de mesure de flux est prévu pour déterminer la vitesse de flux incident de l'hélice propulsive (2), et sachant que, par une modulation de la vitesse de rotation de l'hélice propulsive et par un capteur de force sur le palier de la ou de chaque hélice propulsive (2), on peut acquérir la force de recul de la ou de chaque hélice propulsive (2).

2. Système d'entraînement selon la revendication 1, **caractérisé en ce que**, par une modulation de la vitesse de rotation de l'hélice propulsive et/ou au moyen de l'appareil de mesure de flux, on peut déterminer l'accélération du bateau et d'après celle-ci la force d'avancement du bateau.
3. Système d'entraînement selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que**, comme moyens pour le diagnostic de grandeurs caractéristiques relatives à l'entraînement, il est prévu des moyens pour détecter la cavitation ou encore l'intensité de celle-ci sur l'hélice propulsive (2), sachant que, pour la détection de la cavitation sur l'hélice propulsive (2) ou encore de l'intensité de celle-ci, on effectue une détermination par mesurage de coefficients de l'hélice propulsive en fonction du paramètre de progression.
4. Système d'entraînement selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** les coefficients de l'hélice propulsive sont formés par le coefficient de poussée, le coefficient de couple de rotation et le rendement de l'hélice propulsive, sachant que ces coefficients et le paramètre de progression peuvent être déterminés par l'acquisition par mesurage du couple de rotation de l'hélice propulsive, de la vitesse de rotation de l'hélice propulsive, de la vitesse du flux incident et de la force d'avancement de l'hélice propulsive (2).
5. Système d'entraînement selon la revendication 3 ou 4, **caractérisé en ce que** l'apparition de cavitation ou l'intensité de la cavitation peut être détectée en évaluant la modification des coefficients de l'hélice propulsive lors d'une modulation du paramètre de progression, sachant que le paramètre de progression peut être modulé en modifiant la vitesse de rotation de l'hélice propulsive.
6. Système d'entraînement selon la revendication 5, **caractérisé en ce que**, en cas de circulation de bulles d'air sous la coque du bateau, on peut, en mesurant le rendement de l'hélice propulsive ou la force d'avancement de l'hélice propulsive (2), déterminer si les bulles d'air parviennent dans la région de l'hélice propulsive (2).
7. Système d'entraînement selon l'une des revendications 3 à 6, **caractérisé en ce que** la cavitation au niveau de l'hélice propulsive (2) peut être décelée par une évaluation sélective en fréquence du spectre de fréquences du couple de rotation de l'hélice propulsive ou de la vitesse de rotation de l'hélice propulsive.
8. Système d'entraînement selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que**, par une détection du couple de rotation de l'hélice propulsive en fonction de l'angle, on peut déceler des pales individuelles défectueuses (2a) de l'hélice propulsive (2) ou un balourd de l'hélice propulsive (2).
9. Système d'entraînement selon l'une des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que**, afin d'amortir les vibrations, on peut modifier la position ou l'angle d'un ou de chaque arbre d'entraînement (3) sur lequel l'hélice ou les hélices propulsives (2) sont disposées, et/ou moduler la vitesse de rotation de l'hélice ou des hélices propulsives (2).
10. Système d'entraînement selon l'une des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que**, afin d'optimiser le rendement de l'hélice propulsive, la vitesse de rotation de l'hélice propulsive (2) peut être modifiée en fonction de conditions cadres qui se modifient.
11. Système d'entraînement selon l'une des revendications 1 à 10, **caractérisé en ce que** les entraînements électriques (4) sont formés par des moteurs synchrones ou des moteurs asynchrones.



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

- DE 4430409 A1 [0005]
- WO 9601522 A1 [0006]
- DE 10309420 A1 [0007]
- DE 4213635 A1 [0009]