



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
13.01.2010 Patentblatt 2010/02

(51) Int Cl.:
B63H 21/17 (2006.01) B63H 21/22 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **09163542.5**

(22) Anmeldetag: **24.06.2009**

(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 TR

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT 80333 München (DE)**

(72) Erfinder: **Geil, Günter 28277, Bremen (DE)**

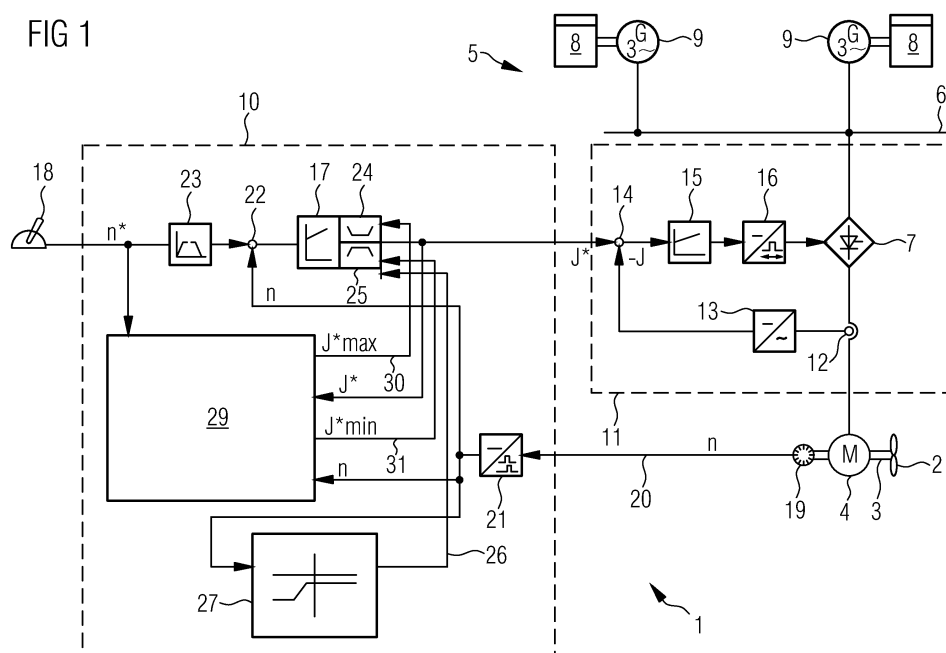
(30) Priorität: **07.07.2008 DE 102008032023**
05.08.2008 DE 102008036483

(54) **Verfahren und Vorrichtung zur Steuerung des Propellerschubes eines elektrisch angetriebenen Schiffsantriebssystems**

(57) Die Erfindung richtet sich auf ein Verfahren zur Steuerung des Propellerschubes eines Schiffsantriebssystems mit wenigstens einem elektrischen Antriebsmotor, dessen antreibendes und/oder bremsendes Drehmoment steuerbar ist, insbesondere durch eine Steuerung oder Regelung des Motorstroms, um dadurch die Motordrehzahl einem Drehzahlsollwert nachführen zu können, wobei der Sollwert für das Motordrehmoment bzw. für den Motorstrom durch eine positive und/oder durch eine negative Drehmoment- oder Stromgrenze begrenzt ist, wobei eine oder beide Drehmoment- oder Stromgrenzen konstant vorgegeben oder Funktion(en) des Drehzahlwertes sein können ("statische Strom-

grenzen bzw. Stromgrenzfunktionen"), und wobei die positive und/oder negative Drehmoment- oder Stromgrenze bei Vor- und/oder Rückwärtsfahrt abweichend von der rein statischen Stromgrenze bzw. Stromgrenzfunktion auf wenigstens einen engeren Wert mit einem kleineren Absolutwert begrenzzbar ist/sind ("dynamische Stromgrenze"); erfindungsgemäß wird eine Auswahl zwischen einer statischen Stromgrenze oder Stromgrenzfunktion einerseits und der betreffenden dynamischen Stromgrenze andererseits wenigstens in Abhängigkeit von dem aktuellen Drehzahlsollwert getroffen; die dazu verwendete Vorrichtung ist ebenfalls Gegenstand der Erfindung.

FIG 1



Beschreibung

[0001] Die Erfindung richtet sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Steuerung des Propellerschubes eines Schiffsantriebsystems mit wenigstens einem elektrischen Antriebsmotor, dessen antreibendes und/oder bremsendes Drehmoment steuerbar ist, insbesondere durch eine Steuerung oder Regelung des Motorstroms, um dadurch die Motordrehzahl einem Drehzahlsollwert nachführen zu können, wobei der Sollwert für das Motordrehmoment bzw. für den Motorstrom durch eine positive und/oder durch eine negative Drehmoment- oder Stromgrenze begrenzt ist, wobei eine oder beide Drehmoment- oder Stromgrenzen konstant vorgegeben oder Funktion(en) des Drehzahlwertes sein können ("statische Stromgrenzen bzw. Stromgrenzfunktionen"), und wobei die positive und/oder negative Drehmoment- oder Stromgrenze bei Vor- und/oder Rückwärtsfahrt abweichend von der rein statischen Stromgrenze bzw. Stromgrenzfunktion auf wenigstens einen engeren Wert mit einem kleineren Absolutwert begrenzt ist/sind ("dynamische Stromgrenze"). Im Rahmen der Erfindung soll der Begriff "Schiffsantriebssystem" weit gefaßt sein; neben den konventionellen, dieselektrischen Schiffsantrieben, d.h. Schiffsantrieben mit einem oder mehreren, im Schiffsrumpf ortsfest gelagerten Schiffswellen, sollen davon bspw. auch sog. Ruderpropeller umfaßt sein, welche im Fachjargon auch als Pod oder poded drive bezeichnet werden. Solche Ruderpropeller bestehen meistens aus einer drehbaren Gondel, worin der Elektromotor mit ein oder zwei Propellern montiert ist; da die Gondel insgesamt drehbar ist, lassen sich damit die Funktionen von Ruder und Schiffsantrieb zusammenführen.

[0002] Seeschiffe erhalten ihren Vortrieb zumeist von einem oder mehreren Propellern. Während solche Propeller früher direkt an die Abtriebswelle einer Dampfmaschine oder eines Dieselmotors gekoppelt waren, treiben bei modernen Seeschiffen immer häufiger Elektromotoren die Propellerwelle an, welche die dazu benötigte Antriebsleistung von Elektrogeneratoren erhalten, welche ihrerseits mechanisch mit Dieselmotoren und/oder Gasturbinen gekoppelt sind. Der Vorteil besteht darin, dass ein oder mehrere Dieselgeneratoren und/oder Gasturbinengeneratoren das elektrische Bordnetz mit konstanter Frequenz und konstanter Spannung versorgen können und dieses Bordnetz die Eigenschaft hat, bspw. über ein oder mehrere Transformatoren die elektrischen Verbraucher (Hotellast) und über regelbare Um- und/oder Stromrichter die Elektromotore der Propeller gemeinsam mit der benötigten elektrischen Leistung versorgen zu können.

Für Seeschiffe gibt es verschiedene Fahrzustände:

[0003] Im Bereich eines Hafens ist häufig ein hohes Antriebsmoment erforderlich, sogar mit unvermittelter Schubumkehr, d.h. Bremswirkung, um das Schiff genau an die gewünschte Position zu manövrieren. Beim Ma-

növrieren kann ein elektrischer Schiffsantrieb in allen vier Quadranten gefahren werden, d.h. Antreiben und Abbremsen in beide Richtungen.

[0004] Noch extremer ist der Fall eines sog. "Crash-Stopps", wobei das Schiff in einem kürzestmöglichen Zeitintervall auf eine Fahrtgeschwindigkeit Null abgebremst werden soll. Ein solches Fahrmanöver kann durch die verschiedensten Ursachen ausgelöst werden, bspw. durch einen drohenden Zusammenstoß od. dgl.

[0005] Bei einem dieselektrischen Antrieb wird bei einem Bremsvorgang die überschüssige kinetische Energie der bewegten Schiffsmasse und der am Propeller mitschwingenden Wassermassen von den dann im Bremsbetrieb arbeitenden Propellern über die Antriebswelle in die elektrischen Antriebsmotoren geschoben und von dort über Umrichter in das bordeigene Netz zurückgespeist oder von gesteuerten Bremswiderständen zwischengespeichert und dann in Wärme umgewandelt.

[0006] Üblicherweise werden seegehende Schiffe mit elektrischen Antrieben meistens von einem oder mehreren Schiffspropellern mit fester Steigung angetrieben.

[0007] Wenn das Produkt aus der Drehzahl und der Steigung des Propellers größer ist als die Schiffsgeschwindigkeit, dann geht der Schub des Propellers in die Richtung der Propellersteigung. Bei einem Propeller mit der Drehrichtung vorwärts geht in diesem Fall der Propellerschub nach vorne.

[0008] Ist andererseits das Produkt aus der Drehzahl und der Steigung des Propellers kleiner als die Schiffsgeschwindigkeit, dann geht der Schub des Propellers in die entgegengesetzte Richtung der Propellersteigung.

[0009] Dieses Betriebsverhalten eines Propellers führt dazu, dass sich bei einem fahrenden Schiff der Propellerschub umkehrt, wenn bei Reduzierung der Propellerdrehzahl der sogenannte Turbineneffekt einsetzt. Der Turbineneffekt beschreibt einen Betriebszustand, bei dem der Propeller Leistung aus dem Seewasser aufnimmt und dabei das Schiff bremst. Dieses Betriebsverhalten eines Propellers ist unerwünscht, wenn auf einem fahrenden Schiff bei einer Reduzierung der Propellerdrehzahl die das Schiff antreibende Leistung bis auf Null zurückgenommen werden soll, aber danach kein deutlich spürbares Bremsen des Schiffes über den Propeller gewünscht wird. Dieser Betriebszustand des Schiffsantriebes wird englisch als trailing oder freewheeling bezeichnet.

[0010] Die Bremswirkung des sich im Schiffsbetrieb einstellenden Turbineneffektes des Propellers wird durch die mögliche Bremsleistung des Schiffsantriebes begrenzt. Bisher wurden Schiffe häufig von Dieselmotoren direkt angetrieben. Dort wird während des Turbineneffektes des Propellers kein Kraftstoff in den Dieselmotor eingespritzt, und der Dieselmotor bremst den Propeller mit seinen Kompressionsverlusten, die bei ca. 6 % seiner Nennleistung liegen. Bei einem dieselmekanischen Antrieb ist deshalb die Auswirkung des Turbineneffektes des Propellers bauartbedingt so gering, dass er kein Problem darstellt.

[0011] Der Turbineneffekt des Propellers kann am Propeller jedoch eine mechanische Leistung in der Größenordnung bis zu etwa 30 % der Nenn-Antriebsleistung erreichen. Diese Bremsleistung kann von einem diesel-elektrischen Schiffsantrieb mit Rückspeisung der Bremsenergie in ein ausreichend großes Bordnetz und/oder Umwandlung derselben mittels ausreichend groß dimensionierten Bremswiderständen in Wärme auch vollständig aufgenommen werden.

[0012] Damit ist die (potentielle) Bremsleistung eines dieselelektrischen Schiffsantriebs mit Rückspeisung der Bremsenergie in das Bordnetz oder Umwandlung derselben mittels Bremswiderständen in Wärme um ein Vielfaches größer als die Bremsleistung eines Dieselmotors bzw. dieselmechanischen Schiffsantriebs, die bei einer Reduzierung der Schiffsgeschwindigkeit oder bei einem normalen Stoppen des Schiffes fast nicht und bei einem Crash-Stopp-Manöver nur begrenzt aktiv werden darf.

[0013] Mit einer langen Rücklaufzeit im Hochlaufgeber vom Drehzahlsollwert kann die Drehzahl des Propellers so langsam reduziert werden, dass das Schiff im mittleren und insbesondere im oberen Drittel der Schiffsgeschwindigkeit nur oder zumindest überwiegend über den Schiffswiderstand im Wasser bremst. Dieses Verfahren führt aber beim Stoppen des Schiffes und insbesondere beim Crash-Stopp-Manöver zu überlangen Stoppwegen des Schiffes, die unerwünscht und insbesondere beim Crash-Stopp-Manöver durch Sicherheitsvorschriften begrenzt sind.

[0014] Insbesondere bei dieselelektrischen Schiffsantrieben, die ihre Bremsleistung mittels Bremswiderständen in Wärme umwandeln, ist es aus wirtschaftlichen Gründen wichtig, dass bei einer Reduzierung des Absolutwertes des Drehzahlsollwertes über den Turbineneffekt des Propellers keine oder nur eine geringe Bremsleistung auftritt, damit die Bremswiderstände für die dabei anfallende Wärmemenge nicht zusätzlich größer ausgelegt werden müssen, als es für das Manövrieren und insbesondere für den Crash-Stopp erforderlich ist.

[0015] Aus diesen Nachteilen des beschriebenen Standes der Technik resultiert das die Erfindung initiierte Problem, eine Möglichkeit zu finden, wie bei einem Schiff mit elektrisch angetriebener Propellerwelle eine Reduzierung der Schiffsgeschwindigkeit, ein normales Stoppen des Schiffes oder ein Crash-Stopp-Manöver ausgeführt werden kann, ohne dass es dabei zu unerwünschten Bremseffekten im elektrischen Schiffsantrieb kommen kann.

[0016] Die Lösung dieses Problems gelingt dadurch, dass bei Vor-und/oder Rückwärtsfahrt das/der für eine Verlangsamung des Absolutwertes der Drehzahl eines Antriebsmotors maßgebende Bremsmoment bzw. -strom nicht durch eine statische, d.h. unabänderliche Grenze beschränkt wird; bevorzugt erfolgt stattdessen zur Verringerung nachteiliger Turbineneffekte des Propellers eine dynamische und/oder individuelle Ermittlung der negativen bzw. bremsenden Drehmoment- und/oder Stromgrenze(n), insbesondere unter Berücksichtigung

der aktuellen (Drehzahl-) Sollwertvorgabe.

[0017] Der Sinn dieser Maßnahme besteht darin, die eingangs erwähnten Fahrsituationen anhand der Art und/oder Veränderung des Drehzahlsollwertes zu erkennen bzw. zu unterscheiden und das Verhalten des Schiffsantriebes entsprechend zu beeinflussen. Damit ist es möglich, das vom Kapitän oder Steuermann gewünschte Verhalten des Schiffsantriebes - bspw. Rücknahme des Vorwärtsschubes bis zu einer Art "Leerlauf", jedoch ohne wahrnehmbares Bremsmoment, einerseits, sowie Schubumkehr bzw. Bremsschub andererseits - voneinander zu unterscheiden, und eben genau diese Drehmomentencharakteristik einzustellen bzw. zu verwenden. Vorzugsweise wird dabei als Informationsquelle nur die (aktuelle) Drehzahlsollwertvorgabe bzw. die Stellung des Fahrhebels ausgewertet, so dass eine zusätzliche Eingabe seitens des Kapitäns oder Steuermanns nicht erforderlich ist.

[0018] Es hat sich als günstig erwiesen, dass bei einer Reduzierung des absoluten Drehzahlsollwertes, insbesondere mittels des Fahrhebels, die Grenze für das/den der aktuellen Fahrtrichtung entgegengesetzte(n) Bremsmoment bzw. Bremsstrom für wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor auf einen gegenüber dem Nennmoment oder -strom reduzierten Wert eingestellt wird. Beim Bremsvorgang ist in fast allen Fahrsituationen ohne (Vorwärts-) Schub in der betreffenden Fahrtrichtung eine Begrenzung des Bremsmomentes vorteilhaft:

[0019] Bei einer "geringen" Rücknahme des Sollwertes bzw. Fahrhebels soll noch kein Bremsmoment einsetzen, sondern zunächst eine Art "Leerlauf" eingestellt werden, so dass das Schiff nur oder fast nur über den Schiffswiderstand gebremst wird.

[0020] Beim Manövrieren bei kleinen Schiffsgeschwindigkeiten, bspw. im Hafen, sind zwar höhere Bremsmomente erforderlich; zu starkes Bremsen könnte hier jedoch zu unvorhersehbaren Überreaktionen des Schiffes führen, bspw. Kavitationseffekte am Propeller.

[0021] Schließlich besteht beim sog. Crash-Stopp sogar die Gefahr, dass der Propeller infolge eines zu hohen Bremsmomentes durchgezogen wird, der Propeller "schlägt Schaum". Dabei bricht der Wirkungsgrad des Propellers völlig ein, und es geht von dem Propeller keine oder nur noch eine äußerst geringe Bremsleistung aus, das Schiff wird überwiegend nur über den Schiffswiderstand gebremst, was zu unzulässig langen Stoppwegen führen kann.

[0022] Bei einem Crash-Stopp auf einem Schiff mit zwei oder mehreren Schiffsantrieben sollte auf eine möglichst relativ gesehen gleichmäßige Verteilung der Bremsleistung auf die Schiffsantriebe bei relativ gesehen annähernd gleichen Propellerdrehzahlen geachtet werden, was den Stoppweg des Schiffes zusätzlich reduziert und sich bei Umrüchtern, die die Bremsleistung in das Bordnetz zurückspeisen, stabilisierend auf das Bordnetz auswirkt.

[0023] Weitere Vorteile ergeben sich dadurch, dass bei einer Reduzierung des absoluten Drehzahlsollwertes

mittels des Fahrhebels die Grenze für das/den der aktuellen Fahrtrichtung entgegengesetzte(n) Bremsmoment bzw. Bremsstrom für wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor auf einen von dem aktuellen Drehzahlsollwert und/oder der neuen (End-) Stellung des Fahrhebels abhängigen Wert eingestellt wird. Hierbei sind zwei

[0024] Funktionen des Drehzahlsollwertes voneinander zu unterscheiden: Einerseits die Vorgabe für den Drehzahlwert, andererseits sein Einfluss auf die negative Drehmoment- bzw. Stromgrenze bzw. auf die Grenzwerte für die jeweils bremsenden Drehmomente bzw. Motorströme.

[0025] Zur Verdeutlichung sei erwähnt, dass mit die-selelektrischen Antrieben ein vollständiger Vier-Quadranten-Betrieb möglich ist, also:

- Antrieb bei Vorwärtsfahrt bzw. positives Drehmoment M_{ist} bei positiver Drehzahl n_{ist} , also (in einem Diagramm mit der Drehzahl als Abszisse und dem Drehmoment als Ordinate) Betrieb im I. Quadranten;
- Antrieb bei Rückwärtsfahrt bzw. negatives Drehmoment M_{ist} bei negativer Drehzahl n_{ist} , also (in einem Diagramm mit der Drehzahl als Abszisse und dem Drehmoment als Ordinate) Betrieb im III. Quadranten;
- Bremsen bei Vorwärtsfahrt bzw. negatives Drehmoment M_{ist} bei positiver Drehzahl n_{ist} , also (in einem Diagramm mit der Drehzahl als Abszisse und dem Drehmoment als Ordinate) Betrieb im IV. Quadranten; sowie
- Bremsen bei Rückwärtsfahrt bzw. positives Drehmoment M_{ist} bei negativer Drehzahl n_{ist} , also (in einem Diagramm mit der Drehzahl als Abszisse und dem Drehmoment als Ordinate) Betrieb im II. Quadranten.

[0026] Für die erfindungsgemäß zu beeinflussenden Stromgrenzen ist vor allem der Betrieb in den Quadranten IV und/oder II relevant. In beiden Fällen sind Drehmoment M_{ist} und Drehzahl n_{ist} einander entgegengesetzt, so dass der Schiffsantrieb elektrisch gebremst wird.

[0027] Es liegt im Rahmen der Erfindung, dass bei einem Bremsvorgang das maximal erreichbare Bremsmoment bzw. der maximal erreichbare Bremsstrom für wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor davon abhängt, ob der Drehzahlsollwert bzw. die Stellung des Fahrhebels über die neutrale Nullstellung hinweg zurückgenommen bzw. in die entgegengesetzte Drehrichtung des Antriebes verstellt wird oder nicht.

[0028] Es kann demnach erfindungsgemäß vorgesehen sein, dass eine (ggf. neue) Momenten- oder Stromgrenze für wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor auf einen Absolutwert von weniger als 10 % des Moment- oder Strom-Nenn-Wertes festgelegt wird, solange der Drehzahlsollwert und/oder die Stellung des Fahrhebels nicht über die neutrale Nullstellung hinweg zurückgenommen bzw. in die entgegengesetzte Fahrtrichtung

verstellt wird, vorzugsweise auf weniger als 2 % des maximalen Moment- oder Stromwertes, insbesondere auf einen Bereich von 0,5 % bis 1 % des maximalen Moment- oder Stromwertes. Damit wird die Bremswirkung des Antriebs absichtlich erheblich eingeschränkt, damit das Schiff - seinem innewohnenden Schwung folgend - möglichst antriebslos weiter treiben kann.

[0029] Es sollte eine (ggf. neue), den Bremsvorgang beeinflussende Momenten- oder Stromgrenze für wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor auf einen Absolutwert von 80 % des Momenten- oder Strom-Nenn-Wertes oder weniger festgelegt werden, wenn der Drehzahlsollwert bzw. die Stellung des Fahrhebels über die neutrale Nullstellung hinaus in die entgegengesetzte Drehrichtung des Schiffsantriebes verstellt wird, vorzugsweise auf 50 % des Moment- oder Strom-Nenn-Wertes oder weniger, insbesondere auf 45 % des maximalen Moment- oder Strom-Nenn-Wertes oder weniger. In diesem Fall nimmt die erfindungsgemäße Schiffssteuerung an, dass ein Manöver mit Schubumkehr oder gar ein Crash-Stopp gewünscht wird, und erlaubt deutlich höhere Werte für das Bremsmoment bzw. den Bremsstrom. Dass dennoch die Werte für das Bremsmoment begrenzt werden, ist in anderen Faktoren begründet. Einerseits soll das Durchziehen oder zu starkes Kavittieren des Propellers vermieden werden, wobei dessen Wirkungsgrad drastisch zurückginge und/oder Schäden durch Kavitation am Propeller oder Schiff auftreten können. Andererseits bedeutet jeder Bremsvorgang eine negative Leistung, die von den Antriebsmotoren mechanisch aufgenommen wird und elektrisch abgeführt werden muß. Hierzu ist das Bordnetz und/oder der Umrichter meistens nur in beschränktem Umfang geeignet, und selbst bei Bedarf eingeschaltete Bremswiderstände können jeweils nur eine bestimmte Energiemenge pro Zeiteinheit aufnehmen, weil sie sich ansonsten überhitzen.

[0030] Andererseits sollte eine (ggf. neue), den Bremsvorgang beeinflussende Momenten- oder Stromgrenze für wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor auf einen Absolutwert von 20 % des Moment- oder Strom-Nenn-Wertes oder mehr festgelegt werden, wenn der Drehzahlsollwert bzw. die Stellung des Fahrhebels über die neutrale Nullstellung hinaus in die entgegengesetzte Drehrichtung des Schiffsantriebes verstellt wird, vorzugsweise auf 30 % des Moment- oder Strom-Nenn-Wertes oder mehr, insbesondere auf 35 % bis 50 % des maximalen Moment- oder Strom-Nenn-Wertes. Damit steht eine ausreichende Bremsleistung bzw. ausreichendes Bremsmoment bei einem Fahrmanöver zur Verfügung, was in den meisten Fällen für einen effizienten Bremsvorgang ausreicht.

[0031] Es hat sich als günstig erwiesen, dass eine (ggf. neue), den Bremsvorgang beeinflussende Momenten- oder Stromgrenze für wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor innerhalb des IV. und II. Quadranten und auch über die entgegengesetzte Drehrichtung des Schiffsantriebes hinaus im III. und I. Quadranten unabhängig von der Drehzahl des Schiffsantriebes ist, bspw.

bis sie 10 % der Nenn-Drehzahl in der nun umgekehrten Drehrichtung erreicht hat, vorzugsweise bis sie 20 % der Nenn-Drehzahl oder weniger in der neuen, umgekehrten Drehrichtung erreicht hat, insbesondere bis sie 30 % der Nenn-Drehzahl oder weniger in der neuen, umgekehrten Drehrichtung erreicht hat. Damit lässt sich bei einem Bremsmanöver und insbesondere bei einem Crash-Stopp auf einem Schiff mit zwei oder mehreren Schiffsantrieben eine möglichst relativ gesehen gleichmäßige Verteilung der Bremsleistung auf die Schiffsantriebe bei relativ gesehen annähernd gleichen Propellerdrehzahlen erreichen, was sich zusätzlich reduzierend auf den Stoppweg des Schiffes und bei Umrüchtern, die ihre Bremsleistung in das Bordnetz zurückspeisen, stabilisierend auf das Verhalten des Bordnetzes auswirkt.

[0032] Bevorzugt ist und/oder wird die positive Drehmoment- oder Stromgrenze auf die betreffende, statische Stromgrenze bzw. Stromgrenzfunktion eingestellt, sobald der Drehzahlsollwert positiv ist. Damit wird für den antreibenden Antrieb des Schiffes in Vorwärtsfahrtrichtung das volle, nur von der statischen Stromgrenze bzw. der drehzahlabhängigen Stromgrenzfunktion eingeschränkte Antriebsmoment zur Verfügung gestellt.

[0033] Ebenso sollte die negative Drehmoment- oder Stromgrenze auf die betreffende, statische Stromgrenze bzw. Stromgrenzfunktion eingestellt sein und/oder werden, sobald der Drehzahlsollwert negativ ist, um auch für die angetriebene Rückwärtsfahrt stets ein ausreichendes Antriebsmoment zur Verfügung zu haben.

[0034] Ein weiteres Merkmal der Erfindung ist, dass die Verstellung einer Drehmoment- oder Stromgrenze zwischen statischer und dynamischer Stromgrenze entlang einer Rampe mit einer endlichen Steigung erfolgt, insbesondere mittels eines Hoch- oder Rücklaufgeberbausteins. Damit soll erreicht werden, dass bei einer solchen Umstellung keine Drehmomentstöße erzeugt werden, welche eine Belastung für das Schiff darstellen könnten.

[0035] Im Rahmen der Erfindung ist und/oder wird ein Hoch- oder Rücklaufgeberbaustein derart angesteuert, dass für den Übergang von/zur statischen Stromgrenze der Ausgangs- bzw. Zielpunkt seiner Rampe stets um einen voreingestellten Betrag, beispielsweise um einen Betrag von etwa 10 %, jenseits, d.h. oberhalb des Betrags des aktuellen Drehmoment- oder Stromsoll- oder -istwertes liegt. Damit wird beim Aufheben einer dynamischen Grenze schließlich ein entsprechendes Regelungsfenster geöffnet, innerhalb dessen sich der Momenten- und/oder Stromsoll- oder -istwert J^* , J sodann - dem Regelungsalgorithmus folgend - frei einstellen kann.

[0036] Ein weiteres Merkmal der Erfindung ist, dass ein Bremsvorgang (IV. und II. Quadrant) zwangsweise beendet wird, wenn sich der Drehzahlsollwert bzw. die Stellung des Fahrhebels eine einstellbare Zeit in der Nullstellung befindet, indem über eine zeitabhängige Funktion bspw. über die Rampe eines Hoch- oder Rücklaufgeberbausteins eine positive und/oder negative Drehmoment- oder Stromgrenze den Drehmoment bzw. den

Stromsollwert auf einen Absolutwert von 10 % oder weniger, insbesondere auf 2 % oder weniger des Moment- oder Strom-Nenn-Wertes begrenzt. Mit dieser Funktion kann ein elektrischer Schiffsantrieb gestoppt werden, auch wenn der Turbineneffekt des Propellers ein antreibendes Moment an dem Propeller in der Größe erreicht, das der Schiffsantrieb bspw. auf Grund einer wirksamen Moment- oder Stromgrenze nicht abbremsen kann.

[0037] In Weiterverfolgung dieses Erfindungsgedankens kann vorgesehen sein, dass beide Drehmoment- oder Stromgrenzen auf die betreffenden, dynamischen Stromgrenzen gefahren werden, wenn sich der Drehzahlsollwert im Bereich der Nullstellung befindet und gleichzeitig beide Drehmoment- oder Stromgrenzen über einen vorgegebenen Zeitraum hinweg jeweils auf die betreffende, statische Stromgrenze eingestellt bleiben. Bei der nächstfolgenden, eindeutigen Sollwertvorgabe n^* für die Drehzahl wird sodann die für diese Momentenrichtung maßgebliche, dynamische Stromgrenze aufgehoben, und das Schiff kann sodann in der dann ausgewählten Fahrtrichtung mit dem vollen, allenfalls durch die betreffende, statische Stromgrenze eingeschränkten Drehmoment angetrieben werden.

[0038] Natürlich kann die maximale Bremsleistung ggf. durch weitere Randbedingungen begrenzt sein und/oder werden.

[0039] Sofern die Bremsenergie von einem den Elektromotor im Fahrbetrieb speisenden Um- und/oder Stromrichter in das Bordnetz zurückgespeist wird, kann beispielsweise vorgesehen sein, dass die maximale Bremsleistung bei Einspeisung der Bremsleistung in das Bordnetz durch dessen Wirkleistungsaufnahmefähigkeit begrenzt wird.

[0040] Wenn die zurückgespeiste Bremsenergie zumindest teilweise in wenigstens einem, vorübergehend an einem den Elektromotor im Fahrbetrieb speisenden Um- und/oder Stromrichter und/oder an das Bordnetz angeschalteten Bremswiderstand in Wärme umgewandelt wird, sieht die Erfindung vor, dass die maximale Bremsleistung beim Betrieb von Bremswiderständen durch deren Energieaufnahmefähigkeit begrenzt wird.

[0041] Eine weitere, erfindungsgemäße Maßnahme besteht darin, dass bei einem Bremsvorgang, insbesondere bei einem Crash-Stopp, die in das Bordnetz eingespeiste Leistung jedes aktiven Generators gemessen wird. Dadurch ist es möglich, bei einem Bremsvorgang die minimale, von einem Generator in das Bordnetz eingespeiste Leistung mit einem Schwellwert zu vergleichen, und bei Unterschreitung desselben die zurückgespeiste Bremsleistung zu reduzieren, insbesondere durch eine engere Begrenzung des Drehmoment- oder Stromsollwertes J^* .

[0042] Bevorzugt wird bei einem Bremsvorgang die Struktur der Drehzahlregelung des elektrischen Propellerantriebssystems gegenüber der Struktur bei Normalbetrieb nicht verändert, und/oder mit Ausnahme ggf. der Stromgrenze(n) werden keine weiteren Parameter der Drehzahlregelung des elektrischen Propellerantriebssy-

stems gegenüber den entsprechenden Parametern bei Normalbetrieb verändert.

[0043] Die Drehzahlregelung des elektrischen Propellerantriebes wird normalerweise von dem Drehzahlsollwert bzw. der Stellung des Fahrhebels über den Hochlaufgeber für den Drehzahlsollwert geführt. Bei einem Fahrmanöver, bspw. bei einer Reduzierung der Schiffsgeschwindigkeit, bei einem normalen Stoppen eines Schiffes oder bei einem Crash-Stopp-Manöver kann/wird der Propellerantrieb zeitweise von einer statischen oder dynamischen Drehmoment- oder Stromgrenze bzw. von einer drehzahlabhängigen Drehmoment- oder Stromgrenzfunktion geführt. Während der Führung des Propellerantriebes über Drehmoment oder Stromsollwert bzw. Drehmoment- oder Stromsollwertgrenze wird der Hochlaufgeber des Drehzahlsollwertes erfindungsgemäß in der Weise nachgeführt, dass der Ausgang des Hochlaufgebers, der gleichzeitig der Sollwerteingang vom Drehzahlregler ist, innerhalb der Hochlaufgeberfunktion dem Drehzahlwert nachgeführt wird. Diese Hochlaufgebernachführungsfunktion bewirkt, dass der Ausgang des Hochlaufgebers der Drehzahlsollwertvorgabe an seinem Eingang verzögert folgt, weil der Drehzahlwert sich lastbedingt langsamer dem Drehzahlsollwert nähert als es der Hoch- oder Rücklaufzeit vom Hochlaufgeber entspricht. Mit dieser erfindungsgemäßen Hochlaufgebernachführung wird erreicht, dass in allen Betriebszuständen der Drehzahlregelung des elektrischen Propellerantriebes der Sollwert am Eingang des Drehzahlreglers gleich oder nur mit einer kleinen Regeldifferenz dem Drehzahlwert folgt, was den wesentlichen erfindungsgemäßen Vorteil hat, dass die Drehzahlregelung sofort und ohne oder nur mit einem unwesentlichen Überschwingverhalten die Führung des Propellerantriebes übernimmt, wenn das aktuell vom Schiffsantrieb lieferbare Drehmoment wieder größer wird als das aktuell vom Propeller geforderte Lastmoment ist.

[0044] Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Steuerung des Propellerschubes eines elektrisch angetriebenen Schiffsantriebssystems zeichnet sich aus durch eine Einrichtung, die bei Vor- und/oder Rückwärtsfahrt das für eine Verlangsamung des Absolutwertes der Drehzahl eines Antriebsmotors maßgebende Bremsmoment zur Verringerung nachteiliger Turbineneffekte vom Propeller dynamisch vorgibt.

[0045] Eine erfindungsgemäße Vorrichtung kann über eine Einrichtung verfügen, die während der Vor- und/oder Rückwärtsfahrt bei einer Reduzierung des absoluten Drehzahlsollwertes, insbesondere mittels des Fahrhebels, das für eine Verlangsamung des Absolutwertes der Drehzahl eines Antriebsmotors maßgebende Bremsmoment zur Verringerung nachteiliger Turbineneffekte vom Propeller dynamisch begrenzt.

[0046] Bewährt hat sich eine Einrichtung, die bei einer Reduzierung des (absoluten) Drehzahlsollwertes, insbesondere mittels des Fahrhebels, die Grenze für das/den der aktuellen Fahrtrichtung entgegengesetzte(n) Bremsmoment bzw. Bremsstrom für wenigstens einen elektri-

schon Antriebsmotor auf einen gegenüber dem Nennmoment oder -strom reduzierten Wert einstellt.

[0047] Im Rahmen einer erfindungsgemäßen Vorrichtung liegt auch eine Einrichtung, die bei einer Reduzierung des (absoluten) Drehzahlsollwertes mittels des Fahrhebels die Grenze für das/den der aktuellen Fahrtrichtung entgegengesetzte(n) Bremsmoment bzw. Bremsstrom für wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor auf einen von der aktuellen und/oder der neuen Stellung des Fahrhebels abhängigen Wert einstellt.

[0048] Eine erfindungsgemäße Einrichtung sollte bei einem Bremsvorgang bzw. bei einer Reduzierung des (absoluten) Drehzahlsollwertes, bspw. mittels des Fahrhebels, eine (ggf. neue) Grenze für das/den der aktuellen Fahrtrichtung entgegengesetzte(n) Bremsmoment bzw. Bremsstrom für wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor je nach dem einstellen, ob der Fahrhebel über die neutrale Nullstellung hinweg zurückgenommen bzw. in die entgegengesetzte Fahrtrichtung verstellt wird oder nicht.

[0049] Besondere Vorteile bietet eine Einrichtung, die bei einem Bremsvorgang bzw. bei einer Reduzierung des (absoluten) Drehzahlsollwertes, bspw. mittels des Fahrhebels, eine (ggf. neue) Momenten- oder Stromgrenze für wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor auf einen Absolutwert von weniger als 10 % des Moment- oder Strom-Nenn-Wertes festlegt, solange der Fahrhebel nicht über die neutrale Nullstellung hinweg zurückgenommen bzw. in die entgegengesetzte Fahrtrichtung verstellt wird, vorzugsweise auf weniger als 2 % des maximalen Moment- oder Stromwertes, insbesondere auf einen Bereich von 0,5 % bis 1 % des maximalen Moment- oder Stromwertes.

[0050] Gegenstand der Erfindung ist auch eine Einrichtung, die bei einem Bremsvorgang bzw. bei einer Reduzierung des (absoluten) Drehzahlsollwertes, bspw. mittels des Fahrhebels, eine (ggf. neue), den Bremsvorgang beeinflussende Momenten- oder Stromgrenze für wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor auf einen Absolutwert von 80 % des Momenten- oder Strom-Nenn-Wertes oder weniger festlegt, wenn der Fahrhebel über die neutrale Nullstellung hinaus in die entgegengesetzte Fahrtrichtung verstellt wird, vorzugsweise auf 50 % des Moment- oder Strom-Nenn-Wertes oder weniger, insbesondere auf 45 % des maximalen Moment- oder Strom-Nenn-Wertes oder weniger.

[0051] Eine solche Einrichtung sollte andererseits die bei einem Bremsvorgang bzw. bei einer Reduzierung des (absoluten) Drehzahlsollwertes, bspw. mittels des Fahrhebels, eine (ggf. neue), den Bremsvorgang beeinflussende Momenten- oder Stromgrenze für wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor auf einen Absolutwert von 20 % des Moment- oder Strom-Nenn-Wertes oder mehr festlegen, wenn der Drehzahlsollwert bzw. Fahrhebel über die neutrale Nullstellung hinaus in die entgegengesetzte Fahrtrichtung verstellt wird, vorzugsweise auf 30 % des Moment- oder Strom-Nenn-Wertes oder mehr, insbesondere auf 35 % bis 50 % des maximalen

Moment- oder Strom-Nenn-Wertes.

[0052] Die Erfindung sieht ferner eine Einrichtung vor, die eine (ggf. neue), den Bremsvorgang beeinflussende Momenten- oder Stromgrenze für wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor bei einer Zurücknahme bzw. Verstellung des Drehzahlsollwertes bzw. Fahrhebels über die neutrale Nullstellung hinaus in die entgegengesetzte Fahrtrichtung wenigstens so lange eingestellt lässt, bis die Drehzahl des Antriebsmotors nach dessen Drehrichtungsumkehr -10 % der Nenn-Drehzahl oder weniger erreicht hat, vorzugsweise -20 % der Nenn-Drehzahl oder weniger, insbesondere -30 % der Nenn-Drehzahl oder weniger.

[0053] Bei Umkehr der Drehrichtung hält eine Einrichtung die Grenze für das/den in die ursprüngliche Drehrichtung treibende(n) Moment bzw. Strom, welche bei Drehzahl Null eingestellt ist, nach der Drehrichtungsumkehr konstant, vorzugsweise bis zur maximalen negativen bzw. umgekehrten Drehzahl.

[0054] Sofern der Drehzahlsollwert zum einen, ferner der Drehzahlwert und schließlich der Drehmoment- oder Stromsoll- oder -istwert jeweils negatives Vorzeichen haben, stellt eine Einrichtung die positive Drehmoment- oder Stromgrenze auf einen dynamischen Stromgrenzwert anstelle der statischen Stromgrenze bzw. Stromgrenzfunktion ein.

[0055] Sofern der Drehzahlsollwert zum einen, ferner der Drehzahlwert und schließlich der Drehmoment- oder Stromsoll- oder -istwert jeweils positives Vorzeichen haben, stellt eine Einrichtung die negative Drehmoment- oder Stromgrenze auf einen dynamischen Stromgrenzwert anstelle der statischen Stromgrenze bzw. Stromgrenzfunktion ein.

[0056] Sobald der Drehzahlsollwert positiv ist, stellt eine Einrichtung die positive Drehmoment- oder Stromgrenze auf die betreffende, statische Stromgrenze bzw. Stromgrenzfunktion ein.

[0057] Sobald der Drehzahlsollwert negativ ist, stellt eine Einrichtung die negative Drehmoment- oder Stromgrenze auf die betreffende, statische Stromgrenze bzw. Stromgrenzfunktion ein.

[0058] Ein Hoch- und/oder Rücklaufgeberbaustein dient der Verstellung einer Drehmoment- oder Stromgrenze zwischen statischer und dynamischer Stromgrenze entlang einer Rampe mit einer endlichen Steigung.

[0059] Eine Ansteuerung für den Hoch- und/oder Rücklaufgeberbaustein sollte derart ausgebildet sein, dass für den Übergang von/zu der statischen Stromgrenze der Ausgangs- bzw. Zielpunkt der Rampe stets um einen voreingestellten Betrag, beispielsweise um einen Betrag von etwa 10 %, jenseits, d.h. oberhalb des Betrags des aktuellen Drehmoment- oder Stromsoll- oder -istwertes liegt.

[0060] Bewährt hat sich eine Einrichtung, die bei einem Drehzahlsollwert in der Nähe des Nullpunktes die beiden Drehmoment- oder Stromgrenzen daraufhin überwacht, ob wenigstens eine von beiden auf die betreffende, dy-

namische Stromgrenze eingestellt ist.

[0061] Ferner sollte eine Einrichtung vorhanden sein, welche beide Drehmoment- oder Stromgrenzen auf die betreffenden, dynamischen Stromgrenzen fährt, wenn sich der Drehzahlsollwert im Bereich der Nullstellung befindet und gleichzeitig beide Drehmoment- oder Stromgrenzen über einen vorgegebenen Zeitraum hinweg jeweils auf die betreffende, statische Stromgrenze eingestellt bleiben.

[0062] Besondere Vorteile bietet eine Einrichtung, die während der Führung des Propellerantriebes über einen Drehmoment- oder Stromsollwert bzw. eine Drehmoment- oder Stromsollwertgrenze den Hochlaufgeber des Drehzahlsollwertes in der Weise nachführt, dass der Ausgang des Hochlaufgebers, der gleichzeitig der Sollwerteingang vom Drehzahlregler ist, innerhalb der Hochlaufgeberfunktion dem Drehzahlwert nachgeführt wird. Die Einrichtung der Hochlaufgebernachführung bewirkt, dass der Ausgang des Hochlaufgebers der Drehzahlsollwertvorgabe an seinem Eingang verzögert folgt, wenn der Drehzahlwert sich lastbedingt langsamer dem Drehzahlsollwert nähert, als es der Hoch- oder Rücklaufzeit vom Hochlaufgeber entspricht.

[0063] Die Erfindung empfiehlt, einen den Elektromotor im Fahrbetrieb speisenden Um- und/oder Stromrichter zu verwenden, der in der Lage ist, bei einem Bremsvorgang die von wenigstens einem Elektromotor des Schiffsantriebs zurückgespeiste Bremsenergie in das Bordnetz einzuspeisen und/oder über einen Bremswiderstand in Wärme umzuwandeln.

[0064] Ferner umfasst die Erfindung einen oder mehrere Sensoren, Wandler od. dgl., um die in das Bordnetz eingespeiste Leistung jedes aktiven Generators zu messen.

[0065] Die Erfindung zeichnet sich weiterhin aus durch einen Komparator, Integrator od. dgl., um bei einem Bremsvorgang die minimale, von einem Generator in das Bordnetz eingespeiste Leistung $P_{\min}$ mit einem vorgegebenen Schwellwert P zu vergleichen.

[0066] Schließlich entspricht es der Lehre der Erfindung, dass das Ausgangssignal des Komparators, Integrators od. dgl. zu einer den Sollwert für das oder den Strom J^* begrenzenden Baugruppe geführt ist, um den Bremsmomentsollwert oder Stromsollwert J^* zu reduzieren, wenn die minimale, von einem Generator in das Bordnetz eingespeiste Leistung $P_{\min}$ geringer wird als ein vorgegebener Schwellwert P .

[0067] Weitere Merkmale, Einzelheiten, Vorteile und Wirkungen auf der Basis der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sowie anhand der Zeichnung. Hierbei zeigt:

FIG 1 ein Blockschaltbild mit allen für die Erfindung wichtigen Komponenten eines Schiffsantriebs;

FIG 2 die Schaltkreisstruktur des Bausteins 29 aus FIG 1 zur Bestimmung zusätzlicher

Grenzwerte $J^*_{\max}$ und/oder $J^*_{\min}$ für den Stromsollwert J^* ; sowie
 FIG 3 den Verlauf verschiedener Momenten- oder Stromgrenzen, jeweils als Funktion der Drehzahl.

[0068] Eine in der Zeichnung beispielhaft dargestellte Antriebseinrichtung 1 für ein Motorschiff umfasst im vorliegenden Beispiel einen Schiffspropeller 2, der über eine Antriebswelle 3 mit einem elektrischen Propellermotor 4 gekoppelt ist. Dieser wird von einer Dieselgeneratoranlage 5 über ein Bordnetz 6 und einen Um- bzw. Stromrichter 7 mit elektrischer Energie versorgt.

[0069] Die Dieselgeneratoranlage 5 kann eine unterschiedliche Anzahl von Dieselgeneratoren aufweisen. Im vorliegenden Beispiel umfasst sie zwei Dieselmotoren 8 mit je einem angekoppelten Synchrongenerator 9.

[0070] Dem elektrischen Propellermotor 4 ist eine Drehzahlregelung 10 und ein Leistungssteuerungsblock 11 zugeordnet. Als Stellglied dient dem letzteren der besagte Um- bzw. Stromrichter 7; dieser ist Bestandteil einer Stromregelschleife mit Stromistwerterfassung 12, Wandler 13 zur Erzeugung eines normierten Stromistwertsignals J , Summationspunkt 14 zur Bildung der Regelabweichung zwischen dem Stromsollwertsignal J^* und dem Stromistwertsignal J , dem eigentlichen Stromregler 15 sowie einem Ansteuerbaustein 16, der das Ausgangssignal des Stromreglers 15 in Ansteuersignale für den Um- bzw. Stromrichter 7 umsetzt.

[0071] Eingangsseitig erhält der Stromregler 15 des Um- bzw. Stromrichters 7 einen Stromsollwert J^* von einem Drehzahlregler 17. Mit dem vom Drehzahlregler 17 erzeugten Stromsollwert J^* wird im Normalfall ein am Fahrhebel 18 vorgegebener Drehzahlsollwert n^* ausgeglichen. Hierzu wird die Drehzahl des Propellermotors 4 von einem Sensor erfasst, vorzugsweise von einem Inkrementalgeber 19. Dessen Ausgangsimpulse 20 werden in einem Wandler 21 in ein normiertes Drehzahlwertsignal n gewandelt. Zur Ermittlung der auszuregelnden Regelabweichung im Drehzahlregelkreis wird der Drehzahlwert n in einem Summationspunkt 22 von dem Drehzahlsollwert n^* subtrahiert; das Differenzsignal als Maß für die Regelabweichung gelangt zum Eingang des Drehzahlreglers 17.

[0072] Da aufgrund der großen, rotierenden Massen im mechanischen Antriebsstrang 2-4 der Drehzahlwert einer sprunghaften Änderung des Drehzahlsollwertes n^* nicht folgen kann und stattdessen vielmehr zum Schwingen angeregt werden könnte, ist zwischen dem Fahrhebel 18 und dem Summationspunkt 22 für die Bildung der Drehzahlregelabweichung ein Hochlaufgeber 23 für den Drehzahlsollwert n^* eingefügt, welcher mit einer Hochlaufzeit T_U und einer Rücklaufzeit T_D arbeitet; diese kann bspw. fest eingestellt sein oder von einem Funktionsgeber vorgegeben werden, bspw. in Abhängigkeit vom Drehzahlwert, insbesondere als leicht ansteigende Funktion des Absolutbetrags $|n|$ des Drehzahlwerts n .

[0073] U.a. um die Schiffskonstruktion vor zu starken

Drehmomenten an der Antriebswelle 3 zu schützen, ist eine Begrenzung des Drehmoment- bzw. Stromsollwertes J^* vorgesehen. Hierzu dient eine obere Stromwertbegrenzungseinheit 24 und eine untere Stromwertbegrenzungseinheit 25.

[0074] Eine erste Stromwertbegrenzung für die untere Stromwertbegrenzungseinheit 25 wird in Form eines Signals 26 durch einen Funktionsgeber 27 als Funktion des Drehzahlwertes n vorgegeben. Diese Stromwertbegrenzung durch das Signal 26 ist immer aktiv und soll daher als negative, statische Stromgrenze bezeichnet werden, obwohl ihr aktueller Funktionswert von der jeweiligen Drehzahl n des Antriebsmotors 4 abhängig ist.

[0075] Die negative, statische Stromgrenze 26 ist auch in dem Diagramm nach FIG 3 zu erkennen. In diesem Diagramm ist die Drehzahl n entlang der Abszisse aufgetragen, das Drehmoment J bzw. dessen Sollwert J^* entlang der Ordinate, jeweils genormt auf 100 % bei Nennbetrieb.

[0076] Wie aus FIG 3 zu entnehmen ist, begrenzt die negative, statische Stromgrenze 26 das Drehmoment bzw. den Strom J bzw. dessen Sollwert J^* in den Quadranten III, also bei angetriebener Rückwärtsfahrt, und IV, also bei abgebremster Vorwärtsfahrt.

[0077] Bei Vorwärtsfahrt ist das maximal erreichbare Bremsmoment auf etwa -40 % des Nennmomentes eingestellt. Dieser Grenzwert gilt im gesamten vierten Quadranten sowie im dritten Quadranten bis zu einer Drehzahl oberhalb von etwa -30 % der Nenndrehzahl. Sodann sinkt die Drehmomentkurve ab bis zu etwa -60 % des Nennmomentes bei etwa -45 % der Nenndrehzahl und bleibt unterhalb dieses Wertes etwa konstant.

[0078] Wie man aus FIG 3 weiter entnehmen kann, gibt es in ähnlicher Form auch eine obere, statische Stromgrenze 28, die jedoch in FIG 1 nicht eingezeichnet ist. Diese obere, statische Stromgrenze 28 befindet sich in den Quadranten I (angetriebene Vorwärtsfahrt) und II (abgebremste Rückwärtsfahrt). Diese Kurve 28 kann im dritten Quadranten konstant bei etwa 40 % des Nennmomentes liegen und steigt im ersten Quadranten ab einer Drehzahl von etwa 30 % der Nenndrehzahl an bis auf 100 % (= Nenndrehzahl) in dem Drehzahlbereich von etwa 80 % bis 100 % der relativen Nenndrehzahl.

[0079] Die obere Strombegrenzungseinheit 24 und die untere Strombegrenzungseinheit 25 sorgen dafür, dass das Ausgangssignal des Drehzahlreglers 17 auf ein statisches "Fenster" begrenzt wird, innerhalb dessen der ausgangssseitige Stromsollwert J^* , der an den Stromregler 15 weitergegeben wird, zu verbleiben hat. Zwischen den beiden solchermaßen vorgegebenen, statischen Stromgrenzen gibt es daher ein statisches "Fenster", in dem sich der Stromsollwert J^* bei normaler Fahrt im Rahmen der Drehzahlregelung frei einstellen kann. Im Normalbetrieb werden die statischen Stromgrenzen 26, 28 nur selten erreicht.

[0080] Der Drehzahlwert n wie auch der aktuelle Stromsollwert J^* wird außer an den Stromregler 15 vom Drehzahlregler 17 noch als Rechengröße J^* zur Ein-

gangsseite eines Bausteins 29 zur Bestimmung zusätzlicher Grenzwerte $J^*_{\max}$ und/oder $J^*_{\min}$ für den Stromsollwert J^* geführt, die ebenfalls in Form von Signalen 30, 31 zu je einer der beiden Stromwertbegrenzungseinheiten 24, 25 geführt sind. Da die zusätzlichen Grenzwerte $J^*_{\max}$ und/oder $J^*_{\min}$ für den Stromsollwert J^* von dem Baustein 29 in Abhängigkeit von dem Drehzahlsollwert n^* , dem Drehzahlwert n und dem Drehmoment-sollwert J^* bestimmt werden, sollen sie als positiver dynamischer Grenzwert $J^*_{\max}$ und als negativer dynamischer Grenzwert $J^*_{\min}$ bezeichnet werden.

[0081] In FIG 2 erkennt man auf der linken Seite die Eingangsgrößen des Bausteins 29, nämlich den Drehzahlsollwert n^* , den Drehzahlwert n und den Drehmoment- oder Stromsollwert J^* , an der rechten Seite dessen Ausgangsgrößen, nämlich die positive, dynamische Stromgrenze $J^*_{\max}$ einerseits und die negative, dynamische Stromgrenze $J^*_{\min}$ andererseits, welche lt. FIG 1 je einer der beiden Stromwertbegrenzungseinheiten 24, 25 zugeleitet werden.

[0082] Im Rahmen des Bausteins 29 werden der Drehzahlsollwert n^* und der Drehzahlwert n im Wesentlichen nur auf ihre Polarität überprüft, nicht auf ihren Absolutwert; nur der Stromsollwert J^* wird auch mit seinem tatsächlichen bzw. analogen Wert berücksichtigt.

[0083] An allen drei Eingängen n^* , n und J^* ist je ein Baustein 32, 33, 34 angeschlossen, um aus den analogen Eingangssignalen digitale Informationssignale zu generieren, welche Aufschluss über die Polarität des jeweiligen Eingangssignals n^* , n und J^* geben.

[0084] Hierzu würde im einfachsten Fall je ein Komparator genügen, der auf eine Schaltschwelle von null eingestellt ist, so dass das Ausgangssignal bei positiver Eingangsgröße auf einen Maximalwert, bspw. high bzw. logisch '1', springt, bei negativer Eingangsgröße dagegen auf einen Minimalwert, bspw. low oder logisch '0'. Ein solcher Komparator hat jedoch den Nachteil, dass bei Eingangssignalen an der Schaltgrenze häufig ein schnelles Umschalten am Ausgang auftreten kann.

[0085] Um dies zu vermeiden, wird anstelle eines Komparators mit einer einzigen Schaltschwelle jeweils ein Schmitt-Trigger verwendet, also ein Komparator mit Hysterese. Infolge der Hysterese gibt es zwei voneinander getrennte Schaltschwellen in einem vergleichsweise geringen Abstand von bspw. 2 bis 5 %, also bspw. einmal bei +2 % und einmal bei -2 % des (genormten) Eingangssignals. Infolge dieser Schaltschwelle wird der Definitionsbereich des betreffenden Eingangssignals in drei Bereiche unterteilt, also in einen Bereich L (low) unterhalb der unteren Schaltschwelle, einen Bereich M (medium) zwischen der unteren und der oberen Schaltschwelle und einen Bereich H (high) oberhalb der oberen Schaltschwelle. Die Besonderheit eines Schmitt-Triggers ist, dass im Fall eines einzigen Ausgangssignals dasselbe bei Überschreiten der oberen Schaltschwelle, also erst beim Erreichen des Bereichs H, auf den High-Pegel springt, aber erst beim Unterschreiten der unteren Schaltschwelle, also beim Erreichen des Bereichs L, wie-

der auf den Low-Pegel zurückgesetzt wird. Dazwischen, also im Bereich M, bleibt das bisherige Ausgangssignal erhalten. Die Bausteine 32, 33 und 34 verfügen jeweils über einen Q_H -, Q_M - und Q_L -Ausgang. Der Q_H -Ausgang wird auf High bzw. logisch 1 gesetzt, wenn das Eingangssignal x größer ist als das Eingangssignal M_1 . Der Q_L -Ausgang wird auf High bzw. logisch 1 gesetzt, wenn das Eingangssignal x kleiner ist als das Eingangssignal $M_1^*(-1)$. Der Q_M -Ausgang wird auf High bzw. logisch 1 gesetzt, wenn das Eingangssignal x kleiner ist als die Eingangssignale $M_1 - Hy$ und größer als $M_1^*(-1) + Hy$. Die Setzbedingung von einem Q_H -, Q_M - oder Q_L -Ausgang setzt die jeweils anderen Ausgänge zurück auf Low bzw. logisch 0. Das Eingangssignal Hy bestimmt die Hysterese der Schaltschwellen der Q_H -, Q_M - und Q_L -Ausgänge der Bausteine 32, 33 und 34.

[0086] Die Ausgangssignale Q_H und Q_L des am Drehzahlsollwerteingang n^* angeschlossenen Schmitt-Trigger-Bausteins 32 sind jeweils mit dem Set-Eingang S eines statischen Binärwertspeichers 35, 36 - auch als bistabile Kipperschaltung oder RS-Flip-Flop bezeichnet - verbunden. Durch einen High-Pegel an diesem Eingang S des betreffenden Binärwertspeichers 35, 36 wird der betreffende Ausgang Q auf High bzw. logisch '1' gesetzt und bleibt sodann in diesem Zustand, auch wenn das Eingangssignal S wieder zum Low-Pegel zurückkehrt, und zwar so lange, bis an dem betreffenden Reset-Eingang R ein High-Pegel anliegt.

[0087] Die Ausgangssignale Q der beiden Binärwertspeicher 35, 36 wiederum sind mit dem Steuereingang je eines (vorzugsweise elektronisch realisierten) Umschalters 37, 38 verbunden. Diese beiden Umschalter 37, 38 haben jeweils zwei Eingänge, aber nur einen Ausgang. Das Ausgangssignal des Umschalters 37 entspricht der positiven, dynamischen Stromgrenze $J^*_{\max}$, während das Ausgangssignal des Umschalters 38 der negativen, dynamischen Stromgrenze $J^*_{\min}$ entspricht. Die Umschalter 37, 38 haben am Eingang jeweils einen Ruhekontakt, dessen Eingangssignal bei einem Low-Pegel am Steuereingang zum jeweiligen Ausgang $J^*_{\max}$, $J^*_{\min}$ durchgeschaltet wird, und einen Arbeitskontakt, dessen Eingangssignal bei einem High-Pegel am Steuereingang zum jeweiligen Ausgang $J^*_{\max}$, $J^*_{\min}$ durchgeschaltet wird.

[0088] Am Eingang des Ruhekontakts des Umschalters 37, welcher an seinem Ausgang die positive, dynamische Stromgrenze $J^*_{\max}$ generiert, liegt ein fest eingestellter, kleiner positiver Pegel an, bspw. von etwa 1 %, als normierter Wert, insbesondere bezogen auf den Nennwert des Signals J^* . Dieses Signal von etwa 1 % wird als positive, dynamische Stromgrenze $J^*_{\max}$ verwendet, solange das Ausgangssignal Q des Binärwertspeichers 35 low bzw. logisch '0' ist. Da der Binärwertspeicher 35 S-dominant ausgelegt ist, d.h. bei einem High-Pegel am Setz-Eingang S unabhängig vom Pegel am Rücksetzeingang R in jedem Fall auf High bzw. logisch '1' springt, erfordert dies in jedem Fall, dass der Drehzahlsollwert n^* nahe 0 oder negativ ist, d.h. kleiner

als das Eingangssignal M_1 .

[0089] Am Eingang des Ruhekontakts des Umschalters 38, welcher an seinem Ausgang die negative, dynamische Stromgrenze $J^*_{\min}$ generiert, liegt ein fest eingestellter, kleiner negativer Pegel an, bspw. von etwa -1 %, als normierter Wert, insbesondere bezogen auf den Nennwert des Signals J^* . Dieses (normierte) Signal von etwa -1 % wird als negative, dynamische Stromgrenze $J^*_{\max}$ verwendet, solange das Ausgangssignal Q des Binärwertspeichers 36 low bzw. logisch '0' ist. Da der Binärwertspeicher 36 ebenfalls S-dominant ausgelegt ist, d.h. bei einem High-Pegel am Setz-Eingang S unabhängig vom Pegel am Rücksetzeingang R in jedem Fall auf High bzw. logisch '1' springt, erfordert dies in jedem Fall, dass der Drehzahlsollwert n^* nahe 0 oder positiv ist, d.h. größer als das Eingangssignal $M_1^*(-1)$.

[0090] Da zumindest an einem Ausgang Q_H oder Q_L des Schmitt-Trigger-Bausteins 32 normalerweise immer ein High-Pegel anliegt, ist normalerweise auch immer zumindest der Ausgang Q eines Binärwertspeichers 35, 36 gesetzt, also auf High-Pegel bzw. logisch '1', und demnach sollte im Normalfall auch immer wenigstens eine dynamisch Stromgrenze $J^*_{\max}$, $J^*_{\min}$ auf das Eingangssignal an dem betreffenden Arbeitskontakt gesetzt sein.

[0091] Das Eingangssignal am jeweiligen Arbeitseingang der beiden ausgangsseitigen Umschalter 37, 38 wird durch den Ausgang eines Bausteins 39 vorgegeben sowie - im Fall des Umschalters 38 - durch einen zwischengeschalteten Vorzeichen-Inverter 40, welcher das Analogsignal mit dem Wert -1 multipliziert, und hat stets einen Analogpegel, dessen Absolutwert gleich oder größer ist als das fest (bspw. auf ± 1 %) eingestellte Eingangssignal am jeweiligen Ruhekontakt-Eingang. Wenn der Absolutwert dieses Pegels größer ist als das an der selben Stromwertbegrenzungseinheit 24, 25 angeschlossene, statische Stromgrenzwert-Signal 26, 28, so entspricht dies für die betreffende, positive und/oder negative Stromgrenze der Auswahl der betreffenden statischen Stromgrenze(n) 26, 28 für die Begrenzung des Drehmoment- oder Stromsollwertes J^* .

[0092] Wird andererseits das Ausgangssignal Q wenigstens eines Binärwertspeichers 35, 36 durch einen High-Pegel an dem betreffenden Rücksetzeingang R auf logisch '0' gezogen, so kehrt die Schaltzunge des angeschlossenen Umschalters 37, 38 zum jeweiligen Ruhekontakt zurück und schaltet dieses als dynamische Stromgrenze $J^*_{\max}$ oder $J^*_{\min}$ an die betreffende Stromwertbegrenzungseinheit 24, 25 durch. Aufgrund des geringen Absolutwertes von etwa 1 % ist diese Grenze dann stets enger als die statische Stromgrenze 26, 28, deren Absolutwert stets gleich oder größer ist als etwa 40 %. In diesem Fall wird der betreffende Stromgrenzwert nun durch die dynamische Stromgrenze $J^*_{\max}$, $J^*_{\min}$ bestimmt und nicht mehr durch die betreffende statische Stromgrenze 26, 28.

[0093] Das dazu erforderliche Rücksetzen der Binärwertspeicher 35, 36 erfolgt in Abhängigkeit von der "Polarität" der weiteren Eingangsgrößen n , J^* . Auch hier ist

der Begriff "Polarität" genau genommen nicht ganz korrekt, weil auch die hier angeschlossenen Bausteine 33, 34 nicht als Komparatoren mit je einer einzigen Schaltschwelle aufgebaut sind, sondern als hysteresebehaftete Schmitt-Trigger mit zwei Schaltschwellen und drei dadurch voneinander unterschiedenen Eingangssignalbereichen L (unterhalb der unteren Schaltschwelle, knapp unterhalb des Nullpunktes), M (zwischen beiden Schaltschwellen) und H (oberhalb der oberen Schaltschwelle, knapp oberhalb des Nullpunktes). Jeder Baustein 33, 34 verfügt über einen Q_H -Ausgang (Eingangssignal x positiv, d.h. größer als das Eingangssignal M_1) und einen dem gegenüber invertierten Q_L -Ausgang (Eingangssignal x negativ, d.h. kleiner als das Eingangssignal $M_1^*(-1)$). Die Q_H - und Q_L -Ausgänge werden auf Low bzw. Logisch 0 gesetzt, wenn das Eingangssignal x kleiner als die Eingangssignale $M_1 - H_y$ und größer als $M_1^*(-1) + H_y$ ist. Für sämtliche Bausteine 32, 33, 34 können dieselben (Soft- oder Hardware-) Komponenten verwendet werden.

[0094] Jeweils die Q_H -Ausgänge der beiden Bausteine 33, 34 sind an je einem Eingang eines UND-Gatters 41 angeschlossen, dessen Ausgang mit dem Rücksetzeingang R des Binärwertspeichers 36 verbunden ist. Befinden sich daher sowohl die Drehzahl n als auch der Drehmoment- oder Stromsollwert J^* im H-Bereich, also oberhalb der jeweiligen oberen Schaltschwelle (gleichbedeutend mit angetriebener Fahrt in Vorwärtsrichtung), so wird der Binärwertspeicher 36 zurückgesetzt, wenn der Drehzahlsollwert n^* sich jedenfalls nicht in seinem L-Bereich - besser in seinem H-Bereich - befindet, so dass der Setz-Eingang S dieses Binärwertspeichers 36 auf logisch '0' liegt. In diesem Fall - alle Eingangssignale n^* , n und J^* sind "positiv" bzw. von den Bausteinen 32, 33, 34 nicht dem jeweiligen L-Bereich bzw. -Ausgang zugeordnet - wird die negative Stromgrenze definitiv auf $J^*_{\min} = -1$ % gesetzt. Solange diese Konstellation - $n^* > 0$, $n > 0$, $J^* > 0$ (gewünschte und tatsächliche, angetriebene Fahrt vorwärts) - erhalten bleibt, ändert sich auch an dieser Stromgrenze nichts. Erst wenn der Kapitän durch Umlegen des Fahrhebels auf negative Drehzahlen das Vorzeichen des Drehzahlsollwertes n^* bis in den betreffenden L-Bereich hinein umkehrt, wird dieser Schaltzustand geändert.

[0095] Andererseits sind die Q_L -Ausgänge der beiden Bausteine 33, 34 an je einem Eingang eines UND-Gatters 42 angeschlossen, dessen Ausgang mit dem Rücksetzeingang R des Binärwertspeichers 35 verbunden ist. Befinden sich daher sowohl die Drehzahl n als auch der Drehmoment- oder Stromsollwert J^* im L-Bereich, also unterhalb der jeweiligen unteren Schaltschwelle (gleichbedeutend mit angetriebener Fahrt in Rückwärtsrichtung), so wird der Binärwertspeicher 35 zurückgesetzt, wenn der Drehzahlsollwert n^* sich jedenfalls nicht in seinem H-Bereich - besser in seinem L-Bereich - befindet, so dass der Setz-Eingang S dieses Binärwertspeichers 35 auf logisch '0' liegt. In diesem Fall - alle Eingangssignale n^* , n und J^* sind "negativ" bzw. von den Bausteinen

32, 33, 34 nicht dem jeweiligen H-Bereich bzw. -Ausgang zugeordnet - wird die positive Stromgrenze definitiv auf $J^*_{\max} = 1\%$ gesetzt. Solange diese Konstellation - $n^* < 0$, $n < 0$, $J^* < 0$ (gewünschte und tatsächliche, angetriebene Fahrt rückwärts) - erhalten bleibt, ändert sich auch an dieser Stromgrenze nichts. Erst wenn der Kapitän durch Umlegen des Fahrhebels auf positive Drehzahlen das Vorzeichen des Drehzahlsollwertes n^* bis in den betreffenden H-Bereich hinein umkehrt, wird dieser Schaltzustand geändert.

[0096] Bei auf logisch 1 gesetztem Ausgang Q vom Binärwertspeicher 35 und auf logisch 0 zurückgesetztem Ausgang Q vom Binärwertspeicher 36 kann der Um- und/oder Stromrichter über den Elektromotor den Propeller nur in Vorwärtsrichtung antreiben. Bei auf logisch 1 gesetztem Ausgang Q vom Binärwertspeicher 36 und auf logisch 0 zurückgesetztem Ausgang Q vom Binärwertspeicher 35 kann der Um- und/oder Stromrichter über den Elektromotor den Propeller nur in Rückwärtsrichtung antreiben.

[0097] Bedingt durch die hysteresesebehafteten Eingangsbausteine 32, 33 und 34 einerseits sowie die angeschlossenen, multistabilen Kippschaltungen in Form der Binärwertspeicher 35, 36 mit jeweils dominantem Setz-Eingang S kann in der Praxis der Fall eintreten, dass die Ausgänge Q beider Binärwertspeicher 35, 36 gleichzeitig gesetzt, also logisch '1' sind. In diesem Schaltzustand kann der Um- und/oder Stromrichter über den Elektromotor den Propeller in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung antreiben und bremsen (4-Quadrantenbetrieb), was betriebsmäßig dann auftritt, wenn sich bei fahrendem Schiff der Drehzahlsollwert n^* entgegen der Fahrtrichtung des Schiffes befindet. Dieser Schaltzustand tritt betriebsmäßig auf, wenn das Schiff manövriert und insbesondere bei einem Crash-Stopp.

[0098] Andererseits ist dieser Schaltzustand jedoch nicht wünschenswert, wenn der Drehzahlsollwert n^* gleich 0 oder nahe 0 ist und der vom Turbineneffekt angetriebene Propeller über den Elektromotor vom Um- und/oder Stromrichter nicht gestoppt, d.h. momentanlos gehalten werden kann, sondern gebremst wird.

[0099] Aus diesem Grund wird diese Situation von dem Baustein 29 überwacht. Hierfür verfügt der darin integrierte Baustein 32 über einen zusätzlichen Q_M -Ausgang, welcher nur dann einen High-Pegel erzeugt, wenn sich der Drehzahlsollwert n^* gerade eben in dem Bereich M, also zwischen den beiden Schaltschwellen des Schmitt-Triggers 32, befindet. Dieses Signal Q_M ist zusammen mit den Ausgangssignalen Q der beiden Binärwertspeicher 35, 36 je einem Eingang eines UND-Gatters 43 zugeführt. Dessen Ausgangssignal nimmt also nur dann einen High-Pegel an, wenn der Schiffsantrieb gestoppt werden soll und der möglicherweise vom Turbineneffekt angetriebene Propeller über den Elektromotor vom Um- und/oder Stromrichter momentanlos gehalten werden soll.

[0100] Um bspw. ein Manövrieren oder einen Crash-Stopp nicht zu stören, wird während dieses Schaltzu-

standes der schnelle Wechsel des Drehzahlsollwertes von positiv auf negativ oder umgekehrt, d.h., das Signal QM vom Baustein 32 ist logisch 1, für einen sehr kurzen Zeitraum von bspw. etwa 3 Sekunden toleriert. Um dieses Zeitintervall verzögert wird das Signal vom Ausgang des UND-Gatters 43 von dem daran angeschlossenen Einschaltverzögerungsbaustein 44 durchgeschaltet und gelangt über einen nachgeschalteten Inverter 45 als negiertes Signal an den Setzeingang S des Bausteins 39.

[0101] Der Baustein 39 hat zwei Eingänge x, SV: Während am Eingang x der fest eingestellte (normierte) Wert von etwa 1 % anliegt, hängt der Wert am Eingang SV von dem aktuellen Drehmoment- bzw. Stromsollwert J^* ab. Hierzu wird aus dem aktuellen (normierten) Drehmoment- bzw. Stromsollwert J^* von einem daran angeschlossenen Baustein 46 zunächst der Absolutwert, d.h., der Betrag, gebildet. Diesem Analogsignal wird sodann in einem weiteren, nachgeschalteten Baustein 47 ein fester (normierter) Betrag von bspw. etwa 10 % hinzuaddiert. Das analoge Ausgangssignal dieses Addierers 47 entspricht dem Eingangssignal SV.

[0102] Je nach dem Signal am Steuereingang S des Bausteins 39 wird nun zwischen diesen beiden Eingängen x, SV umgeschaltet. Das analoge Signal am Eingang SV wird unverzögert auf den Ausgang y geschaltet, wenn das binäre Signal am Eingang S logisch 1 ist. Das analoge Signal am Eingang x wird verzögert auf den Ausgang y geschaltet, wenn das binäre Signal am Eingang S logisch 0 ist. Beim Signalwechsel am Eingang S von logisch 1 auf logisch 0 erfolgt der Umschaltvorgang vom Ausgang y auf den Eingang x aber nicht abrupt, sondern erfolgt nach Art eines Hochlauf- oder Rücklaufgebers entlang einer Rampe, wobei die dabei verwendete Hoch- und oder Rücklaufzeiten T_U , T_D an jeweils unterschiedlichen Eingängen TU, TD des Bausteins 39 einstellbar sind. Vorzugsweise sind beide Werte auf jeweils etwa 30 Sekunden eingestellt.

[0103] Das Ausgangssignal y des Bausteins 39 ist also im statischen Fall etwa gleich dem x-Eingang: $y = x = 1\%$, oder dynamisch gleich dem SV-Eingang: $y = SV = |J^*| + 10\%$; während der dynamischen Umschalt- bzw. Übergangsphasen bewegt sich das Ausgangssignal y unverzögert auf den Wert vom Eingang SV und entlang einer Rampe verzögert auf dem Wert vom Eingang x.

[0104] Im Normalfall liegt am Steuereingang S High-Pegel an: $S = 1$. In diesem Fall ist der SV-Eingang zum Ausgang durchgeschaltet: $y = SV = |J^*| + 10\%$. Dieser Wert wird dem Arbeitskontakt-Anschluss des Umschalters 37 direkt, dem Arbeitskontakt-Anschluss des Umschalters 38 in mathematisch invertierter Form (Vorzeichenumkehr) zugeleitet. Diese Werte liegen aufgrund des von dem Addierer 47 bewirkten Offsets von + 10 % damit stets oberhalb bzw. stets unterhalb des aktuellen Drehmoment- bzw. Stromsollwertes J^* und begrenzen diesen daher nicht.

[0105] Ist in diesem Normalfall der Ausgang Q eines Binärwertspeichers 35, 36 gesetzt und demzufolge an dem angeschlossenen Umschalter 37, 38 das Signal an

dem betreffenden Arbeitskontakt ausgewählt und zum jeweiligen Ausgang $J^*_{\max}$, $J^*_{\min}$ durchgeschaltet, so ist der einzige, tatsächlich wirksame Stromgrenzwert die betreffende, statische Stromgrenze 26, 28.

[0106] In der zu vermeidenden Situation sind jedoch die Ausgänge Q beider Binärwertspeicher 35, 36 gleichzeitig gesetzt, und außerdem liegt n^* im Bereich M. In diesem Fall gelangt um etwa 3 Sekunden von dem Baustein 44 verzögert das Signal vom Ausgang des UND-Gatters 43 als negiertes Signal an den Steuereingang S des Bausteins 39 und löst dort den Umschaltvorgang von dem Eingangssignal SV zum Eingangssignal $x = 1\%$ aus.

[0107] Da das Signal am Eingang SV aufgrund des Addierers 47 stets bei mindestens 10 % oder darüber liegt: $SV = 10\% + |J^*| \geq 10\%$, wird also das Ausgangssignal y entlang einer Rampe dem niedrigeren Wert $x = 1\%$ zustreben. Die Signale an den durchgeschalteten Arbeitskontakten beider Umschalter 37, 38 werden demnach gleichzeitig zu den Werten $\pm 1\%$ hinlaufen, und damit auch $J^*_{\max}$ und $J^*_{\min}$. Damit ist der unerwünschte Fall, dass weder $J^*_{\max}$ noch $J^*_{\min}$ auf 1 % bzw. -1 % eingestellt sind, vermieden. Dieser Umschaltvorgang erfolgt ganz sanft, weil der aktuelle Sollwert J^* infolge des Addierers 47 von beiden Seiten umfassen und allmählich entlang einer Rampe der "Nullstellung" zwischen -1 % und 1 % zugeleitet wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung des Propellerschubes eines Schiffsantriebssystems (1) mit wenigstens einem elektrischen Antriebsmotor (4), dessen antreibendes und/oder bremsendes Drehmoment steuerbar ist, insbesondere durch eine Steuerung oder Regelung des Motorstroms J, um **dadurch** die Motordrehzahl n einem Drehzahlsollwert n^* nachführen zu können, wobei der Sollwert J^* für das Motordrehmoment bzw. für den Motorstrom durch eine positive und/oder durch eine negative Drehmoment- oder Stromgrenze (24,25) begrenzt ist, wobei eine oder beide Drehmoment- oder Stromgrenzen (24,25) konstant vorgegeben oder Funktion(en) des Drehzahlwertes sein können ("statische Stromgrenzen bzw. Stromgrenzfunktionen", 26,28), und wobei die positive und/oder negative Drehmoment- oder Stromgrenze (24,25) bei Vor- und/oder Rückwärtsfahrt abweichend von der rein statischen Stromgrenze bzw. Stromgrenzfunktion (26,28) auf wenigstens einen engeren Wert $J^*_{\max}$, $J^*_{\min}$ mit einem kleineren Absolutwert begrenzt ist/sind ("dynamische Stromgrenze", 30,31),
dadurch gekennzeichnet, dass eine Auswahl zwischen einer statischen Stromgrenze oder Stromgrenzfunktion (26,28) einerseits und der betreffenden dynamischen Stromgrenze (30,31) andererseits wenigstens in Abhängigkeit von dem aktuellen Drehzahlsollwert n^* getroffen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass bei einer Reduzierung des absoluten Geschwindigkeits- und/oder Drehzahlsollwertes $|n^*|$, insbesondere mittels des Fahrhebels (18), die Grenze (24,25) für den der aktuellen Fahrt- oder Propellerdrehrichtung n entgegengesetzten Bremsmoment- bzw. Bremsstromsollwert J^* für wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor (4) auf einen gegenüber dem Nennmoment oder -strom J_{nenn} reduzierten Wert eingestellt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass bei einer Reduzierung des (absoluten) Drehzahlsollwertes $|n^*|$, bspw. mittels des Fahrhebels (18), die Grenze (24,25) für den der aktuellen Fahrt- oder Propellerdrehrichtung n entgegengesetzten Bremsmoment- bzw. Bremsstromsollwert J^* für wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor (4) auf einen Wert eingestellt wird, der von dem aktuellen bzw. neuen Sollwert n^* und/oder von der aktuellen bzw. neuen Stellung des Fahrhebels (18) abhängig ist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Bremsvorgang bzw. bei einer Reduzierung des (absoluten) Drehzahlsollwertes $|n^*|$, bspw. mittels des Fahrhebels (18), die Festlegung einer (ggf. neuen) Grenze für den der aktuellen Fahrtrichtung n entgegengesetzten Bremsmoment- bzw. Bremsstromsollwert J^* für wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor (4) davon abhängt, ob der neue Sollwert n^* und/oder der Fahrhebel (18) über die neutrale Nullstellung hinweg zurückgenommen bzw. in die entgegengesetzte Fahrt- oder Propellerdrehrichtung n verstellt wird oder nicht.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Bremsvorgang bzw. bei einer Reduzierung des (absoluten) Drehzahlsollwertes $|n^*|$, bspw. mittels des Fahrhebels (18), eine (ggf. neue) Momenten- oder Stromgrenze für wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor (4) auf einen Absolutwert von weniger als 10 % des Momenten- oder Strom-Nenn-Wertes J_{Nenn} festgelegt wird, solange der Fahrhebel (18) nicht über die neutrale Nullstellung hinweg zurückgenommen bzw. in die entgegengesetzte Fahrt- oder Propellerdrehrichtung n verstellt wird, vorzugsweise auf weniger als 2 % des maximalen Moment- oder Stromwertes und/oder des Momenten- oder Strom-Nenn-Wertes J_{Nenn} , insbesondere auf einen Bereich von 0,5 % bis 1 % des maximalen Moment- oder Stromwertes und/oder des Momenten- oder Strom-Nenn-Wertes J_{Nenn} .
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche

che,

dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Bremsvorgang bzw. bei einer Reduzierung des (absoluten) Drehzahlsollwertes $|n^*|$, bspw. mittels des Fahrhebels (18), wenn der Drehzahlsollwert n^* und/oder der Fahrhebel (18) über die neutrale Nullstellung hinaus in die entgegengesetzte Fahrtrichtung verstellt wird, eine (ggf. neue), den Bremsvorgang beeinflussende Momenten- oder Stromgrenze für wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor (4) auf einen Absolutwert von 80 % des Momenten- oder Strom-Nenn-Wertes J_{Nenn} oder weniger festgelegt wird, und/oder auf einen Absolutwert von 20 % des Moment- oder Strom-Nenn-Wertes J_{Nenn} oder mehr vorzugsweise auf einen Wert im Bereich 30 bis 50 % des Moment- oder Stromwertes und/oder des Momenten- oder Strom-Nenn-Wertes J_{Nenn} , insbesondere auf einen Wert im Bereich von 35 bis 45 % des maximalen Moment- oder Stromwertes und/oder des Momenten- oder Strom-Nenn-Wertes J_{Nenn} .

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass eine (ggf. neue), den Bremsvorgang beeinflussende Momenten- oder Stromgrenze für wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor (4) bei einer Zurücknahme bzw. Verstellung des (absoluten) Drehzahlsollwertes $|n^*|$ und/oder des Fahrhebels (18) über die neutrale Nullstellung hinaus in die entgegengesetzte Fahrt- oder Propellerdrehrichtung n auf einen reduzierten Absolutwert eingestellt bleibt, bis die Drehzahl n des Antriebsmotors (4) nach dessen Drehrichtungsumkehr -10 % der Nenn-Drehzahl n_{Nenn} oder weniger erreicht hat, vorzugsweise -20 % der Nenn-Drehzahl n_{Nenn} oder weniger, insbesondere -30 % der Nenn-Drehzahl n_{Nenn} oder weniger.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass bei einer Umkehr der Propellerdrehrichtung n die Grenze des in die ursprüngliche Propellerdrehrichtung n treibenden Momentes, welche bei einer Drehzahl n von Null eingestellt ist, nach der Umkehr der Propellerdrehrichtung n konstant bleibt, vorzugsweise bis zur maximalen negativen bzw. umgekehrten Drehzahl n .

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass die Verstellung einer Drehmoment- oder Stromgrenze (24,25) zwischen statischer und dynamischer Stromgrenze (26,28,30,31) entlang einer Rampe mit einer endlichen Steigung erfolgt, insbesondere mittels eines Hoch- oder Rücklaufgeberbausteins (39).

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

che,

dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Drehzahlsollwert n^* in der Nähe des Nullpunktes eine oder beide Drehmoment- oder Stromgrenzen daraufhin überwacht werden, ob wenigstens eine von beiden auf die betreffende, dynamische Stromgrenze eingestellt ist.

11. Verfahren nach Anspruch 10,

dadurch gekennzeichnet, dass beide Drehmoment- oder Stromgrenzen (24,25) auf die betreffenden, dynamischen Stromgrenzen gefahren werden, wenn sich der Drehzahlsollwert n^* im Bereich der Nullstellung befindet und gleichzeitig beide Drehmoment- oder Stromgrenzen (24,25) über einen vorgegebenen Zeitraum T hinweg jeweils auf die betreffende, statische Stromgrenze (26,28) eingestellt bleiben.

12. Vorrichtung zur Steuerung des Propellerschubes eines Schiffsantriebssystems (1) mit wenigstens einem elektrischen Antriebsmotor (4), dessen antreibendes und/oder bremsendes Drehmoment steuerbar ist, insbesondere durch eine Steuerung oder Regelung des Motorstroms J , um **dadurch** die Motordrehzahl n einem Drehzahlsollwert n^* nachführen zu können, wobei der Sollwert J^* für das Motordrehmoment bzw. für den Motorstrom durch eine positive und/oder durch eine negative Drehmoment- oder Stromgrenze (24,25) begrenzt ist, wobei eine oder beide Drehmoment- oder Stromgrenzen (24,25) konstant vorgegeben oder Funktion(en) des Drehzahlsollwertes sein können ("statische Stromgrenzen bzw. Stromgrenzfunktionen", 26,28), und wobei die positive und/oder negative Drehmoment- oder Stromgrenze (24,25) bei Vor- und/oder Rückwärtsfahrt abweichend von der rein statischen Stromgrenze bzw. Stromgrenzfunktion (26,28) auf wenigstens einen engeren Wert J^*_{max}, J^*_{min} mit einem kleineren Absolutwert begrenzt ist/sind ("dynamische Stromgrenze", 30,31), **gekennzeichnet durch** eine Einrichtung (10,29), die eine Auswahl zwischen einer statischen Stromgrenze oder Stromgrenzfunktion (26,28) einerseits und der betreffenden dynamischen Stromgrenze andererseits wenigstens in Abhängigkeit von dem aktuellen Drehzahlsollwert n^* trifft.

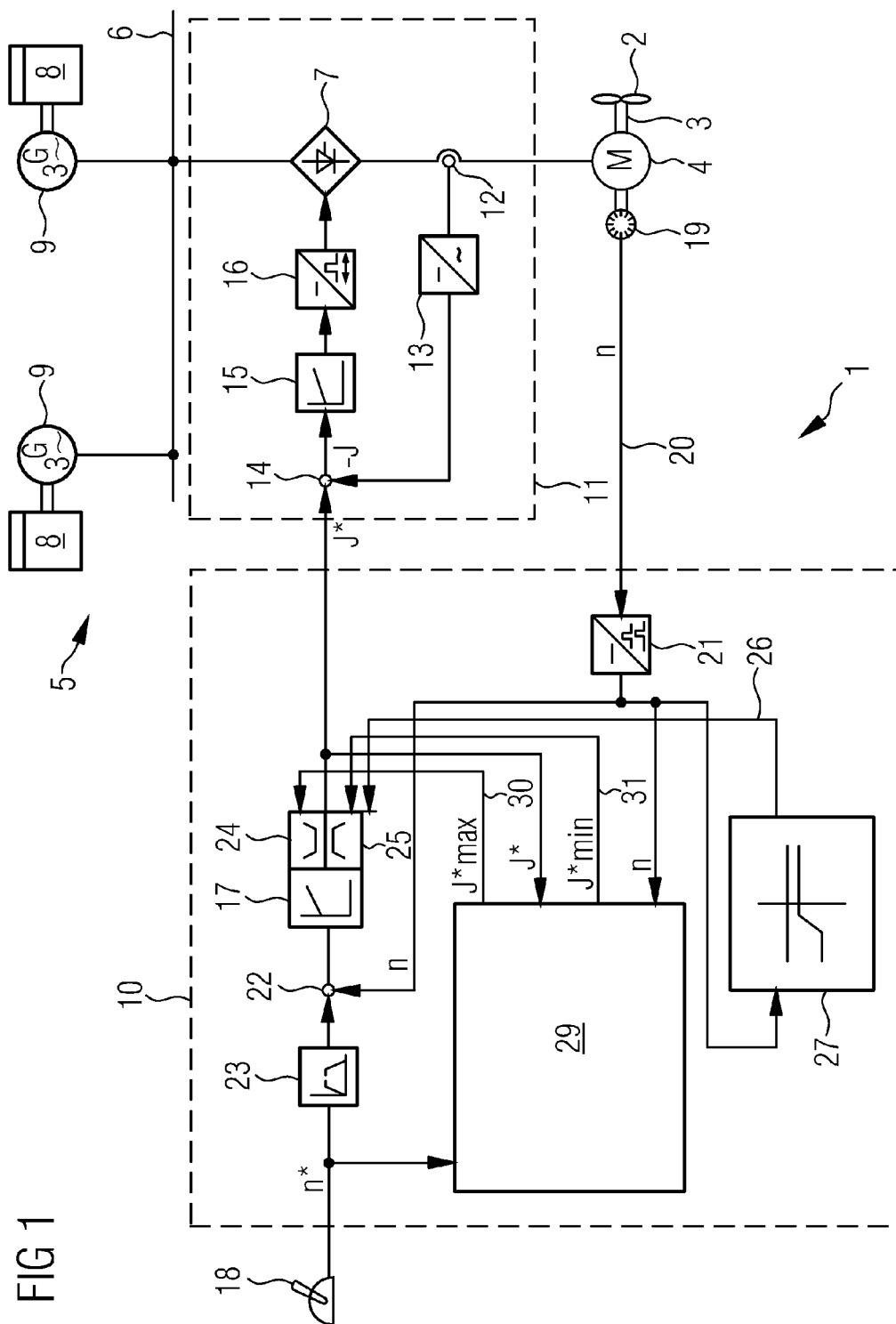
13. Vorrichtung nach Anspruch 12,

gekennzeichnet durch eine Einrichtung (10,29), die während der Vor- und/oder Rückwärtsfahrt bei einer Reduzierung des absoluten Drehzahlsollwertes $|n^*|$, insbesondere mittels des Fahrhebels (18), das für eine Verlangsamung des Absolutwertes der Drehzahl $|n|$ eines Antriebsmotors (4) maßgebende Bremsmoment zur Verringerung nachteiliger Turbineneffekte vom Propeller dynamisch begrenzt, insbesondere **durch** eine Begrenzung des Motorstrom-

sollwertes J^* .

14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, **gekennzeichnet durch** eine Einrichtung (10,29), die bei einer Reduzierung des (absoluten) Drehzahlsollwertes $|n^*|$, insbesondere mittels des Fahrhebels (18), die Grenze für den der aktuellen Fahrt- oder Propellerdrehrichtung n entgegengesetzten Bremsmoment- und/oder Bremsstromsollwert J^* für wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor (4) auf einen gegenüber dem Nennmoment oder -strom J_{Nenn} reduzierten Wert einstellt. 5
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 14, **gekennzeichnet durch** eine Einrichtung (10,29), die bei einer Reduzierung des (absoluten) Drehzahlsollwertes $|n^*|$ mittels des Fahrhebels (18) die Grenze (24,25) für das/den der aktuellen Fahrt- oder Propellerdrehrichtung n entgegengesetzte(n) Bremsmoment bzw. Bremsstrom für wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor (4) auf einen von dem aktuellen bzw. neuen Drehzahlsollwert n^* und/oder der aktuellen bzw. neuen Stellung des Fahrhebels (18) abhängigen Wert einstellt. 10 15 20
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 15, **gekennzeichnet durch** eine Einrichtung (10,29), die bei einem Bremsvorgang bzw. bei einer Reduzierung des (absoluten) Drehzahlsollwertes $|n^*|$, bspw. mittels des Fahrhebels (18), eine (ggf. neue) Grenze (24,25) für das/den der aktuellen Fahrt- oder Propellerdrehrichtung n entgegengesetzte(n) Bremsmoment bzw. Bremsstrom für wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor (4) je nach dem einstellt, ob der Drehzahlsollwert n^* und/oder der Fahrhebel (18) über die neutrale Nullstellung hinweg zurückgenommen bzw. in die entgegengesetzte Fahrt- oder Propellerdrehrichtung n verstellt wird oder nicht. 25 30 35
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 16, **gekennzeichnet durch** eine Einrichtung (10,29), die bei einem Bremsvorgang bzw. bei einer Reduzierung des (absoluten) Drehzahlsollwertes $|n^*|$, bspw. mittels des Fahrhebels (18), eine (ggf. neue) Momenten- oder Stromgrenze (24,25) für wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor (4) auf einen Absolutwert von weniger als 10 % des Moment- oder Strom-Nenn-Wertes J_{Nenn} festlegt, solange der Drehzahlsollwert n^* und/oder der Fahrhebel (18) nicht über die neutrale Nullstellung hinweg zurückgenommen bzw. in die entgegengesetzte Fahrt- oder Propellerdrehrichtung n verstellt wird, vorzugsweise auf weniger als 2 % des maximalen Moment- oder Stromwertes und/oder des Moment- oder Strom-Nenn-Wertes J_{Nenn} , insbesondere auf einen Bereich von 0,5 % bis 1 % des maximalen Moment- oder Stromwertes und/oder des Moment- oder Strom-Nenn-Wertes J_{Nenn} . 40 45 50 55

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 17, **gekennzeichnet durch** eine Einrichtung (10,29), die bei einem Bremsvorgang bzw. bei einer Reduzierung des (absoluten) Drehzahlsollwertes $|n^*|$, bspw. mittels des Fahrhebels (18), wenn der Drehzahlsollwert n^* und/oder der Fahrhebel (18) über die neutrale Nullstellung hinaus in die entgegengesetzte Fahrt- oder Propellerdrehrichtung n verstellt wird, eine (ggf. neue), den Bremsvorgang beeinflussende Momenten- oder Stromgrenze (24,25) für wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor (4) auf einen Absolutwert von 80 % des Momenten- oder Strom-Nenn-Wertes J_{Nenn} oder weniger festlegt, und/oder auf einen Absolutwert von 20 % des Moment- oder Strom-Nenn-Wertes J_{Nenn} oder mehr, vorzugsweise auf einen Wert in einem Bereich von 30 bis 50 % des Moment- oder Strom-Nenn-Wertes J_{Nenn} , insbesondere auf einen Wert in einem Bereich von 35 bis 45 % des maximalen Moment- oder Strom-Nenn-Wertes J_{Nenn} . 5 10 15 20 25
19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 18, **gekennzeichnet durch** einen Hoch- und/oder Rücklaufgeberbaustein (39) zur Verstellung einer Drehmoment- oder Stromgrenze zwischen statischer und dynamischer Stromgrenze entlang einer Rampe mit einer endlichen Steigung. 30 35
20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 19, **gekennzeichnet durch** eine Einrichtung (43-45), die bei einem Drehzahlsollwert n^* in der Nähe des Nullpunktes die beiden Drehmoment- oder Stromgrenzen daraufhin überwacht, ob wenigstens eine von beiden auf die betreffende, dynamische Stromgrenze eingestellt ist. 40 45 50 55
21. Vorrichtung nach Anspruch 20, **gekennzeichnet durch** eine Einrichtung (39), welche beide Drehmoment- oder Stromgrenzen (24,25) auf die betreffenden, dynamischen Stromgrenzen fährt, wenn sich der Drehzahlsollwert n^* im Bereich der Nullstellung befindet und gleichzeitig beide Drehmoment- oder Stromgrenzen über einen vorgegebenen Zeitraum T hinweg jeweils auf die betreffende, statische Stromgrenze (26,28) eingestellt bleiben. 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55



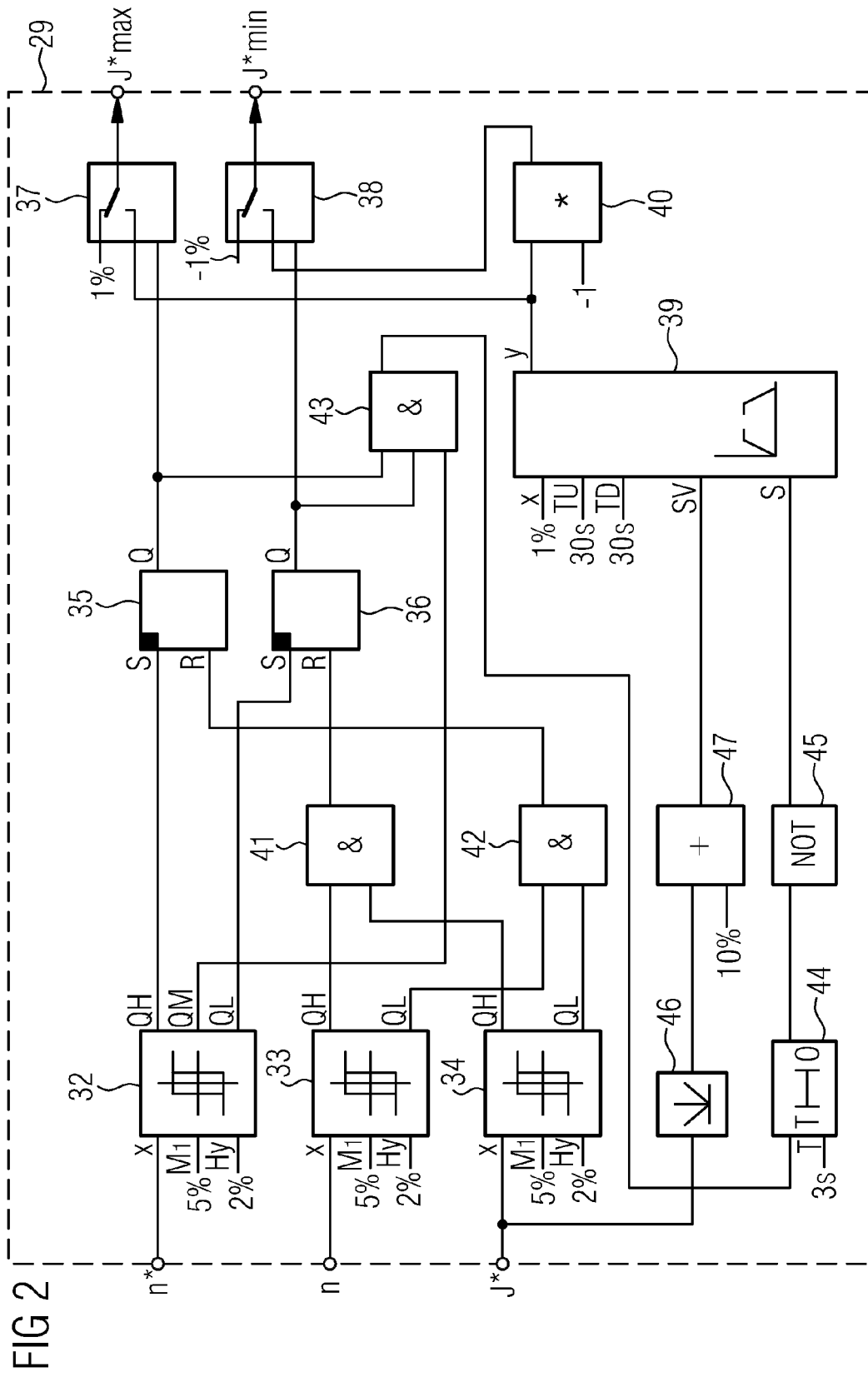


FIG 3

