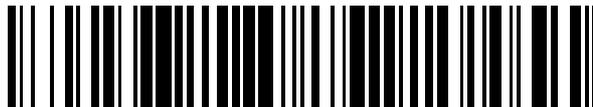


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 388 078**

51 Int. Cl.:  
**B63H 21/17** (2006.01)  
**B63H 21/20** (2006.01)  
**B63H 23/24** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07022773 .1**  
96 Fecha de presentación: **23.11.2007**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2062813**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **27.05.2009**

54 Título: **Método y dispositivo para la detención lo mas rápida posible de la hélice de un buque accionada eléctricamente**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**08.10.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**08.10.2012**

73 Titular/es:  
**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT  
WITTELSBACHERPLATZ 2  
80333 MÜNCHEN, DE**

72 Inventor/es:  
**Geil, Günter;  
Wietoska, Jens y  
de Ruiter, Robin**

74 Agente/Representante:  
**Carvajal y Urquijo, Isabel**

ES 2 388 078 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Método y dispositivo para la detención lo más rápida posible de la hélice de un buque accionada eléctricamente

La presente invención hace referencia a un método y a un dispositivo para una detención lo más rápida posible de la hélice accionada eléctricamente de un buque (parada inmediata).

5 Un dispositivo conforme a la clase y un método correspondiente, se conocen a partir del documento EP 1 568 601.

10 Las embarcaciones marítimas reciben su propulsión generalmente de una o de una pluralidad de hélices. Mientras que esta clase de hélices en el pasado se encontraban acopladas al árbol secundario de una máquina de vapor o de un motor diesel, en el caso de las embarcaciones marítimas modernas, donde los motores eléctricos son cada vez más frecuentes, el eje de hélice recibe la potencia motriz necesaria de generadores eléctricos, que se encuentran acoplados mecánicamente a máquinas de vapor (propulsión mediante energía nuclear) o motores diesel. La ventaja consiste en que en estos casos el o los generadores se pueden operar siempre con una velocidad óptima, mientras que la generación de potencia, o bien en el caso de los generadores sincrónicos, se puede controlar fácilmente mediante excitación.

15 Por otra parte, en el caso de una pluralidad de embarcaciones marítimas, entre otros, también en embarcaciones de pasajeros, resulta importante poder detener lo más rápido posible la o las hélices, por ejemplo, en caso de emergencia. Cuando, por ejemplo, una persona que se encontrara sobre la borda caiga al agua, donde se debe evitar que dicha persona llegue a la zona de succión de la hélice y que, de esta manera, sufra daños.

Para dicho fin, hasta el momento se han aplicado grandes sistemas de frenado mecánicos que frenan el árbol de accionamiento de una hélice según sea necesario, y que mantienen la velocidad a cero.

20 Sin embargo, en el caso de una maniobra de esta clase, se generan potencias de frenado y energías de frenado elevadas, dado que los momentos de inercia de masa mecánicos y giratorios del rotor del motor eléctrico, del eje del buque, y de la hélice, generan momentos antagónicos elevados debido a un tiempo de detención muy reducido, a las masas de agua que oscilan junto con la hélice, y a la hélice accionada mediante el efecto de turbina. La potencia motriz y la potencia de frenado se encuentran generalmente en el rango de los megavatios de uno o dos dígitos. La energía de frenado se encuentra generalmente en el rango de los megajulios de dos o tres dígitos. El tiempo de frenado se encuentra generalmente entre medio minuto y un minuto. Para poder admitir dicha energía de frenado en dicho periodo de tiempo reducido, se requieren discos de freno muy grandes, de varios metros de diámetro y un grosor considerable, que en el caso de una parada inmediata se calientan hasta alcanzar su temperatura de sobrecalentamiento. Por otra parte, las masas grandes de esta clase acumulan energía de rotación adicional, que en el caso de una parada inmediata se transforma, es decir, se convierte en calor. La subsiguiente inercia adicional reduce la capacidad de reacción del accionamiento en el caso de que existan modificaciones de velocidad. Además, dicha masa adicional se debe acelerar también en cada maniobra de marcha y, de esta manera, se incrementa el consumo energético del buque. Y no en último término, por el peso elevado que estos mecanismos comportan, se reduce también la capacidad de carga del buque.

35 A partir de dichas desventajas del estado del arte descrito, surge el problema al que se hace referencia al inicio de la presente invención, con el fin de proporcionar la opción de realizar una parada inmediata en un buque con eje de hélice accionado eléctricamente, sin que resulte necesario utilizar los sistemas de frenado mecánicos descritos anteriormente.

40 La solución de dicho problema se logra mediante el hecho de que durante la parada inmediata, la energía de frenado es realimentada por, al menos, un motor eléctrico de propulsión del buque.

45 Los motores eléctricos pueden operar como generadores eléctricos cuando realicen el empuje de cargas de trabajo, y transformar, en su mayor parte, la energía almacenada en calor. Dicha energía eléctrica se puede desviar de los ejes de hélice con pérdidas reducidas. Por lo tanto, resultaría concebible, por ejemplo, el accionamiento de un volante de inercia con dicha energía, para almacenar temporalmente la energía. Sin embargo, un sistema de esta clase resulta muy costoso, y requiere además de un espacio considerable.

50 Por consiguiente, se ha comprobado que resulta ventajoso cuando en la parada inmediata, la energía de frenado es realimentada desde un convertidor y/o inversor de corriente que alimenta el motor eléctrico durante el régimen de marcha, a la red de a bordo. En muchos buques, también en los buques de pasajeros, el funcionamiento de la carga de hotel de a bordo presenta un consumo de potencia absolutamente comparable con la potencia motriz. Por lo tanto, al menos, en un proceso de frenado lento, la energía de frenado podría alimentar completamente a la red de a bordo, y en el caso de una anulación simultánea de los generadores, dicha energía podría ser consumida paulatinamente por dicha red. Sin embargo, en el caso de una parada inmediata, se genera una energía de frenado

muy elevada en un periodo de tiempo muy reducido, lo que implica que los consumidores normales de la red de a bordo no pueden absorberla. Por lo tanto, la red de a bordo por sí sola no puede reemplazar a un volante de inercia.

Por dicho motivo, como se revela en las reivindicaciones independientes 1 y 14, la presente invención prevé que en el caso de una parada inmediata, la energía de frenado realimentada se convierta en calor, al menos parcialmente en, al menos, una resistencia de frenado conectada temporalmente a la red de a bordo. Esta clase de resistencias de frenado se pueden conformar para cada demanda de energía. En el margen de potencia que interesa en este caso, una resistencia de frenado carga completamente uno o una pluralidad de armarios de distribución. Dado que dichas resistencias se conectan según sea necesario a la red de a bordo, en la que la tensión  $U_N$  se puede admitir de manera aproximadamente constante, donde a un valor de resistencia  $R$  de una resistencia de frenado se puede asignar una potencia de entrada nominal  $P_N = U_N \cdot I = U_N^2 / R$ , que se alimenta de dicha resistencia durante el funcionamiento en la red de a bordo. Mediante la potencia perdida resultante, se calienta la resistencia de frenado. Su temperatura alcanza un límite crítico después de un valor que se puede calcular previamente, en general, después de alrededor de 30 a 40 segundos, de manera que la resistencia se debe desconectar rápidamente a continuación para poder enfriarse nuevamente. Para una parada inmediata, en la que la hélice se detiene después de alrededor de 30 a 60 segundos, dicho periodo de tiempo resulta suficiente. En el caso que se requiera, se pueden proporcionar también dos o más resistencias de frenado y, eventualmente, se puede conectar de manera jerarquizada en el tiempo.

Para reconocer cuándo se requiere una resistencia de frenado, en el caso de una parada inmediata se debe calcular o detectar la potencia de frenado realimentada, particularmente mediante la multiplicación del valor real de velocidad  $n$  por el valor nominal del par de torsión  $D^*$  generado por un controlador de velocidad. El valor nominal del par de torsión  $D^*$  resulta más apropiado para este fin que el valor real del par de torsión  $D$ , dado que este último se encuentra sometido a fluctuaciones considerables. Para el conocimiento de la potencia activa generada por los generadores antes de iniciar la parada inmediata, se puede determinar fácilmente la demanda de potencia momentánea de la red de a bordo, y se puede comparar con la potencia de frenado a disposición, para identificar hasta que punto la red de a bordo puede absorber la potencia de frenado.

En el caso de una parada inmediata se conecta a la red de a bordo, al menos, una resistencia de frenado, cuando el valor calculado o determinado de la potencia de frenado realimentada resulta cuantitativamente mayor que un valor umbral predeterminado. Dicho valor umbral considera el hecho de que los generadores no se pueden retroceder instantáneamente, sin correr el riesgo de que los grupos diesel pierdan el control. Además, los generadores no se deben descargar completamente, en tanto se encuentren conectados a la red de a bordo, dado que también pueden surgir estados de funcionamiento indefinidos, por ejemplo, un fallo de sincronización del propio funcionamiento sincronizado.

La presente invención prevé también que en la parada inmediata, al menos, una resistencia de frenado conectada a la red de a bordo, se pueda desconectar nuevamente de la red de a bordo justo cuando se cumple una de las siguientes condiciones:

a) el valor absoluto de la potencia de frenado realimentada, desciende por debajo de un segundo valor umbral menor (histéresis), o

b) desde la conexión de la resistencia de frenado transcurre un intervalo de tiempo predeterminado (tiempo máximo de conexión).

Con la primera condición de desconexión, se evita una oscilación indefinida del interruptor entre la red de a bordo y las resistencias de frenado. La segunda condición sirve también para evitar, como se ha descrito anteriormente, un sobrecalentamiento de las resistencias de frenado conectadas.

La presente invención, en el caso de una parada inmediata, no modifica la estructura del controlador de velocidad del sistema eléctrico de propulsión por hélice en comparación con la estructura funcional en el caso de un funcionamiento normal, sino que sólo modifica uno o una pluralidad de parámetros del controlador de velocidad del sistema eléctrico de propulsión por hélice, en comparación con los parámetros correspondientes durante el funcionamiento normal. De esta manera, también en el caso de una parada inmediata que represente una situación excepcionalmente importante para un sistema de propulsión por hélice, se remite al concepto de control ya verificado en la operación normal. Dicho concepto se adapta sólo a una situación particular durante una parada inmediata.

Por una parte, en una parada inmediata, el valor de velocidad nominal por la palanca de control de máquinas (conocido como telégrafo) se conmuta al valor nominal "0". Por lo tanto, ya no resulta relevante la posición de la palanca de control de máquinas en el caso de una parada inmediata, es decir, que la selección de la palanca de control no debe volver a su posición inicial. Esto presenta la ventaja de que una parada inmediata de esta clase también se pueda iniciar desde un lugar diferente al puente de mando del buque, por ejemplo, mediante un

5 interruptor en la cubierta de popa del buque, o incluso desde la sala de máquinas, cuando en dicho lugar se detecte, por ejemplo, un defecto en el sistema de propulsión en cuestión o también en un sistema de propulsión para otra hélice, etc. Muchos interruptores o pulsadores de "parada inmediata", se pueden por tanto encontrar también distribuidos a lo largo de todo el buque, de manera similar como los frenos de emergencia de un tren. Todas las señales de dichos interruptores o pulsadores se registran, por ejemplo conectados en paralelo, y controlan, por ejemplo, con un relé en común que posteriormente realiza las conmutaciones necesarias, y cuando se inicia una parada inmediata detiene lo más rápido posible todas las hélices del buque, de una manera completamente automática.

10 Como una medida adicional, en el caso de una parada inmediata, el tiempo de reducción se disminuye en un generador de rampa a partir del valor de velocidad nominal, particularmente mediante la conmutación de la entrada a otro generador de funciones. Sin embargo, dicho generador de rampa de valor nominal de velocidad, determina sólo durante los primeros segundos, por ejemplo, dentro de los primeros tres segundos, la reducción de velocidad, dado que en dicho margen sólo se genera una impulsión generada por la hélice. En tanto que la velocidad de rotación se ha reducido aproximadamente un 70% del valor inicial, la hélice presenta una marcha aproximadamente sincronizada con el desplazamiento hacia adelante del buque en el agua, es decir, que no se somete a un frenado adicional. Desde dicho estado, el sistema de propulsión ya no puede seguir el valor nominal de velocidad, dado que no presenta la fuerza. o bien la capacidad de frenado, necesaria para frenar a cero la hélice dentro de los 10 segundos. Se ha comprobado que dicho tiempo de reducción de aproximadamente 10 segundos resulta óptimo, dado que de esta manera en la fase inicial de la secuencia de parada inmediata, el frenado puede ceder su función a las masas de agua acopladas a las hélices. Además, los generadores requieren de dicho periodo de tiempo de aproximadamente 3 segundos para que se puedan aproximar, de manera controlada, al estado de marcha sin carga, a partir del estado con potencia de suministro elevada.

25 Además, en el caso de una parada inmediata, el tiempo de reducción se disminuye en un generador de rampa de valor nominal del par de torsión, particularmente mediante la conmutación de la entrada a otro generador de funciones para el tiempo de reducción. De esta manera, se permite una modificación más rápida del par de torsión en comparación con el funcionamiento normal y, de esta manera, también la transición más rápida al funcionamiento de frenado activo, en donde se invierte la dirección del par de torsión. Aunque esto podría ser más rápido para el motor de propulsión y también para su convertidor de corriente, el equipo generador que alimenta la red de a bordo, sólo se puede descargar a una velocidad limitada.

30 Finalmente, en el caso de una parada inmediata, una curva característica que delimita el momento de frenado, se desplaza hacia valores absolutos mayores admisibles del momento de frenado, para conceder prioridad a la parada inmediata ante un desgaste en los cojinetes de ejes. Mediante dicho momento de frenado máximo, la propulsión por hélice se reduce finalmente hasta alcanzar la detención de la hélice.

35 Antes de que se alcance dicho momento de frenado máximo, en la parada inmediata interviene otro mecanismo de manera que limite el desarrollo. Para dicho fin, se mide la potencia alimentada a la red de a bordo de cada generador activo, y particularmente en el caso de una parada inmediata se compara la potencia mínima alimentada por el generador a la red de a bordo, con un valor umbral. Cuando no se alcanza dicho valor, la potencia de frenado se reduce para evitar una descarga completa de los generadores activos, hecho que resultaría perjudicial para su funcionamiento.

40 Un dispositivo conforme a la presente invención, para una detención lo más rápida posible de, al menos, una hélice accionada eléctricamente de un buque (parada inmediata), se caracteriza por un dispositivo diseñado para almacenar energía de frenado realimentada por, al menos, un motor eléctrico del sistema de propulsión del buque.

45 Para ello, se han considerado, por ejemplo, también un disco de volante de inercia o acumuladores, hecho que, sin embargo, se relaciona con costes considerables. Por el contrario, la presente invención prevé un convertidor y/o inversor de corriente que alimenta el motor eléctrico durante el régimen de marcha, que está diseñado para alimentar la energía de frenado realimentada por, al menos, un motor eléctrico del sistema de propulsión del buque, a la red de a bordo, en el caso de una parada inmediata. Dicha red puede absorber, al menos parcialmente, la energía puesta a disposición de manera repentina, ante una descarga simultánea de los generadores.

50 Sin embargo, en el caso de una parada inmediata, la energía de frenado alimentada excede la capacidad de recepción de la red de a bordo. Por este motivo, se proporciona, al menos, una resistencia de frenado que se puede conectar a la red de a bordo, para la conversión parcial de la energía de frenado alimentada a la red de a bordo en el caso de una parada inmediata, mediante un interruptor, un relé o similar.

55 Para la activación a tiempo de una resistencia de frenado de esta clase, se utiliza, al menos, una unidad para calcular o determinar la potencia de frenado realimentada en el caso de una parada inmediata, particularmente un multiplicador, por una parte, para el valor real de velocidad  $n$  y, por otra parte, para el valor nominal del par de torsión  $D^*$  generado por un controlador de velocidad. A continuación de dicho controlador se conecta un comparador

o similar, para la comparación del valor calculado o determinado de la potencia de frenado realimentada, con un valor umbral predeterminado. Cuando se excede dicho valor, el sistema identifica una parada inmediata y activa, al menos, una resistencia de frenado para descargar la red de a bordo, y particularmente los generadores que alimentan dicha red.

5 Al menos, se utiliza una unidad con una función de histéresis para abrir nuevamente el interruptor que conecta una resistencia de frenado con la red de a bordo, en tanto que se excede un segundo valor umbral cuantitativamente menor o no se alcanza dicho valor en términos cuantitativos. Mediante dicha histéresis se evita una oscilación de los elementos de conexión (protecciones o similares), hecho que en el caso de cargas elevadas a conectar dentro de un periodo de tiempo extremadamente reducido, podría conducir a la avería de los elementos de conexión en cuestión.

10 Al menos, una unidad de reloj es responsable de abrir nuevamente el interruptor que conecta una resistencia de frenado con la red de a bordo, cuando desde la conexión de la resistencia de frenado transcurre un intervalo de tiempo predeterminado. De esta manera, se evita un sobrecalentamiento de la resistencia de frenado en cuestión.

15 La presente invención utiliza uno o una pluralidad de conmutadores, relés conmutadores o similares, para modificar uno o una pluralidad de parámetros del controlador de velocidad del sistema eléctrico de propulsión por hélice, en el caso de una parada inmediata, en comparación con los parámetros correspondientes durante el funcionamiento normal. En el caso de dichos elementos de conmutación, se puede tratar naturalmente también de un interruptor de soporte lógico, por ejemplo, en forma de una asignación de parámetros o de instrucciones de un programa, en el caso que los parámetros a conmutar formen parte de una regulación realizada mediante técnicas de programa.

20 Un primer conmutador, un contacto de relé conmutador o similar, que en el caso de una parada inmediata conmuta el valor nominal de velocidad de la palanca de control de máquinas al valor nominal "0" fijado. Para ello, el desarrollo posterior de la parada inmediata se encuentra completamente desacoplado de la palanca de control de máquinas, y se desarrolla de manera autárquica.

25 Otro conmutador, un contacto de relé conmutador o similar, en el caso de una parada inmediata, se ocupa de conmutar el tiempo de reducción en un generador de rampa del valor de velocidad nominal, a un valor reducido que es generado preferentemente por un generador de funciones por separado. Dicha reducción acelerada conforma una rampa, a lo largo de la cual desciende la potencia de marcha recibida por el sistema de propulsión, de manera rápida pero, sin embargo, no abrupta, de manera que los generadores dispongan del tiempo suficiente para regular el descenso de manera controlada desde la carga completa hasta una marcha aproximadamente sin carga.

30 Otro conmutador, un contacto de relé conmutador o similar, en el caso de una parada inmediata, se ocupa de conmutar el tiempo de reducción en un generador de rampa de valor nominal del par de torsión, a un valor reducido que es generado preferentemente por un generador de funciones por separado. Esto representa una seguridad adicional para cuando ya no se puede evitar una regulación demasiado intensa del controlador de velocidad, en el caso que el sistema de propulsión carezca de soporte debido al efecto de frenado de las masas de agua acopladas a la hélice, de la rampa de reducción del valor de velocidad nominal  $n^*$ . También en dicho rango inferior próximo al funcionamiento sincrónico de alrededor del 70% de la velocidad nominal o inicial, se limita de esta manera la variación de la potencia de frenado, preferentemente una limitación de la variación del momento de frenado en correspondencia con la fórmula  $P = n^* \cdot D$ .

35 Además, existe un conmutador, un contacto de relé conmutador o similar, que en el caso de una parada inmediata, conmuta desde un generador de curva característica que limita el momento de frenado durante el funcionamiento normal, a un generador de curva característica que limita el momento de frenado en el caso de una parada inmediata, con valores absolutos mayores admisibles del momento de frenado. En su medición, ya no resulta determinante el desgaste de los cojinetes para el árbol de accionamiento, sino que sólo resulta decisiva la resistencia al ladeo del casco del buque.

40 Para la medición de la potencia alimentada a la red de a bordo, de cada generador activo, en sus salidas de potencia se conectan sensores, convertidores o similares. A partir de sus señales de salida individuales, en el caso de una parada inmediata, una unidad selecciona la potencia mínima alimentada por un generador a la red de a bordo, y dicha potencia es comparada después por un comparador, un integrador o similar, con un valor umbral predeterminado, para identificar si un generador se está aproximando a una marcha completamente sin carga, hecho que se debe evitar sin falta por razones relacionadas con la técnica de regulación.

45 Finalmente, el principio de la presente invención hace referencia a la transmisión de la señal de salida del comparador, del integrador o similar, a una unidad que limita el valor nominal para el momento de frenado, con el fin de reducir el momento de frenado cuando la potencia mínima alimentada por un generador a la red de a bordo resulta menor que un valor umbral predeterminado. De esta manera, se limita la potencia de frenado, de manera que ningún generador activo alcance su marcha completamente sin carga en la salida.

Otras características, particularidades, ventajas y efectos, en base a la presente invención, se obtienen a partir de la siguiente descripción de una forma de ejecución preferida de la presente invención, así como mediante los dibujos. De esta manera, muestran:

5 FIG. 1 un esquema en bloques de los componentes esenciales de un sistema eléctrico de propulsión de un buque, que incluye generadores y resistencias de frenado;

FIG. 2 la unidad de regulación y de potencia para una barra de accionamiento de la fig. 1 en detalle;

FIG. 3 la unidad de control para la activación de un conjunto de resistencias de frenado de la fig. 1; así como

10 FIG. 4 un diagrama con el desarrollo del par de torsión y de la potencia, durante una parada inmediata conforme a la presente invención, registrado a lo largo de la velocidad y normalizado respectivamente en base a valores nominales.

Un dispositivo de propulsión 1 representado en principio en la figura 1 para una embarcación a motor, que en el presente ejemplo comprende dos hélices de buque 2 que en cada caso se encuentran acopladas mediante un árbol de accionamiento 3 a un motor eléctrico de hélice 4 en cada caso. Dicho motor es alimentado con energía eléctrica por una instalación generadora diesel 5, a través de una red de a bordo 6 y un convertidor o inversor de corriente 7.

15 La instalación generadora diesel 5 puede presentar un número diferente de generadores diesel. En el presente ejemplo, dicha instalación comprende cuatro motores diesel 8, en cada caso con un generador sincrónico 9 acoplado.

A cada motor eléctrico de hélice 4 se asigna un controlador de velocidad 10 y una unidad de control de potencia 11. Como componente de regulación para este último se utiliza el convertidor o bien, inversor de corriente 7 mencionado. Dicho componente forma parte de un bucle de regulación de corriente con un detector del valor real de la corriente 12, un convertidor 13 para general una señal normalizada del valor real de la corriente J, un punto de suma 14 para la conformación de la desviación de la regulación entre la señal del valor nominal de la corriente J\* y la señal del valor real de la corriente J, parte del propio controlador de corriente 15 así como de una unidad de activación 16 que convierte la señal de salida del controlador de corriente 15 en señales de activación para el convertidor o bien, el inversor de corriente 7.

20 El controlador de corriente 15 del convertidor o bien, del inversor de corriente 7, alimenta en el lado de la entrada un valor nominal de corriente J\* de un controlador de velocidad 17. Con el valor nominal de corriente J\* generado por el controlador de velocidad 17, en el caso normal se regula una velocidad predeterminada n\* en la palanca de control de máquinas 18. Además, se detecta la velocidad del motor de hélice 4 mediante un sensor, particularmente un transmisor incremental 19. Sus impulsos de salida 20 se convierten en un convertidor 21 en una señal normalizada del valor real de velocidad n. Para la determinación de la desviación de regulación utilizada para la regulación en el circuito de regulación de velocidad, en un punto de suma 22 el valor real de velocidad n se resta del valor de velocidad nominal n\*. La señal de diferencia llega a la entrada del controlador de velocidad 17, como coeficiente para la desviación de regulación.

35 Dado que debido a las grandes masas giratorias en la barra de accionamiento mecánica 2-4, no se puede obtener el valor real de velocidad en una modificación discontinua del valor nominal de velocidad n\*, y en lugar de ello se puede iniciar una oscilación, entre la palanca de control de máquinas 18 y el punto de suma 22 se puede incluir para la conformación de la desviación de regulación de velocidad, un generador de rampa 23 para el valor nominal de velocidad n\*, que opere con un tiempo de reducción TD que en el funcionamiento normal es predeterminado por un generador de funciones 24, como una función que incrementa fácilmente del valor absoluto |n| del valor real de velocidad n. El valor absoluto |n| se conforma en una unidad 25 que alimenta en su entrada la señal del valor real de velocidad n.

40 El valor nominal de la corriente J\*, además de conducirse al controlador de corriente 15 desde el controlador de velocidad 17, también se conduce como valor nominal del par de torsión D\* hacia el lado de entrada de un generador de rampa 26 adaptativo, para el valor nominal del par de torsión D\*. Dicho generador se ocupa de evitar variaciones inmediatas del valor nominal de la corriente J\* para el motor de hélice 4, dado que de lo contrario no se pueden seguir las variaciones inmediatas de la potencia de los generadores diesel 8, 9 asociadas a ello. El tiempo de reducción y de aceleración T utilizado por el generador de rampa 26 del par de torsión, se predetermina además en un generador de funciones 27 en relación con el importe del valor real de velocidad |n|. Dicho tiempo de reducción se incrementa en el caso de velocidades medias |n| de manera aproximadamente proporcional, y en el caso de velocidades elevadas y reducidas |n| presenta respectivamente una meseta.

50 En el lado de salida, el generador de rampa adaptativo 26 presenta una etapa de compensación positiva 28, y una etapa de compensación negativa 29. Mediante ambas etapas de compensación 28, 29, el valor nominal de la

corriente  $J^*$  está provisto de un margen de variación, en donde un límite superior 30 y un límite inferior 31 de dicho margen de variación, se transmite desde el lado de salida del generador de rampa adaptativo 26 al lado de salida del controlador de velocidad 17, en el cual se proporcionan una unidad superior para la limitación del valor de corriente 32, y una unidad inferior para la limitación del valor de corriente 33.

- 5 A partir de la unidad superior para la limitación de la corriente 32 y la unidad inferior para la limitación de la corriente 33, resulta un margen de ajuste variable para el controlador de velocidad 17, dentro del cual debe permanecer el valor nominal de la corriente  $J^*$  del lado de la salida, que se transmite al controlador de corriente 15.

10 En la determinación del margen de variación para el valor nominal de la corriente  $J^*$  en el generador de rampa adaptativo 26 del par de torsión, se consideran valores límite predeterminados mediante la instalación de generadores diesel 5, así como la red de a bordo 6. Mediante dichos valores límite se limita aquel margen de variación, dentro del cual puede variar el valor nominal de la corriente  $J^*$  del lado de la salida del controlador de velocidad 17 que abandona dicho controlador. Además, se debe considerar la necesidad de garantizar el seguimiento dinámico de la red de a bordo 6 con el motor de hélice 4 eléctrico. Los límites dinámicos en el caso de variaciones de carga en la red de a bordo 6 o bien, del motor de hélice eléctrico 4, dependen en gran medida de las propiedades de la instalación de generadores diesel 5, en donde en principio los motores diesel 8 y los generadores 9 de la instalación de generadores diesel 5 conformados convencionalmente como generadores sincrónicos, se deben considerar de manera separada unos de otros.

20 En el generador de rampa adaptativo del par de torsión 26, se proporcionan un tiempo de aceleración y un tiempo de reducción T para el valor nominal de la corriente  $J^*$  que se transmite desde el controlador de velocidad 17 al controlador de corriente 15, en donde en la medición de dicho tiempo de aceleración y de reducción T, se considera la carga o descarga adicional de los motores diesel 8 de la instalación de generadores diesel 5. Para considerar, se modifica el tiempo de aceleración y de reducción T utilizado por el generador de rampa 26 adaptativo del par de torsión, de manera aproximadamente proporcional con el valor de velocidad  $|n|$  del motor de hélice eléctrico 4. De esta manera, se logra que la potencia activa recibida por un convertidor o bien, un inversor 7 del dispositivo de propulsión 1, presente un tiempo de aceleración y de reducción independiente de velocidad  $n$  del motor de hélice eléctrico 4.

30 En un rango de velocidad inferior del motor de hélice eléctrico 4, que corresponde aproximadamente al rango de maniobra, para el tiempo de aceleración y de reducción T utilizado por el generador de rampa adaptativo 26 del par de torsión, para el valor nominal de la corriente  $J^*$ , se considera un tiempo de aceleración y de reducción mínimo, que se adapta de acuerdo con la variación admisible del suministro de potencia reactiva de los generadores sincrónicos 9 de la instalación de generadores diesel 5.

35 Además, se modifican el tiempo de aceleración y el tiempo de reducción T registrados en el generador de rampa adaptativo 26, para el valor nominal de la corriente  $J^*$ , de manera inversamente proporcional al número  $k$  de generadores diesel activos 8, 9 de la instalación de generadores diesel 5. De esta manera, se logra que la potencia activa recibida por un generador diesel 8, 9 de la instalación de generadores diesel 5, presente un tiempo de aceleración y de reducción independiente del funcionamiento del convertidor o bien, del inversor de corriente 7. Según el número  $k$  de generadores activos 9, en el funcionamiento normal resultan diferentes desarrollos del valor nominal de la corriente  $J^*$ . Para dicho fin, los interruptores de potencia 34 para la conexión de un generador 9 en una barra ómnibus de la red de a bordo 6, se encuentran provistos de sensores cuyas señales de salida 35 pasa a la función  $k_{\max}/k$  en un bloque funcional 36, es decir, cuando todos los generadores 9 se encuentran en marcha, dicho bloque funcional 36 suministra en su salida 37 el valor 1. En el caso que sólo se encuentren activos la mitad de los generadores 9, de esta manera el bloque funcional 36 suministra el valor 2, etc.

45 En el estado regulado, el controlador de velocidad 17 se encuentra en condiciones de conducir sin limitaciones el valor nominal de la corriente  $J^*$  a transmitir al controlador de corriente 15. De lo contrario, en el motor de hélice eléctrico 4 se generan ondulaciones considerables, que repercuten en el buque como oscilaciones mecánicas o bien, como fuentes de ruidos por estructuras sólidas, y pueden favorecer o también iniciar una cavitación de la hélice de buque 2. Por este motivo, el valor nominal de la corriente  $J^*$  se conduce desde el lado de salida del controlador de velocidad 17, como en el caso convencional también directamente hacia el controlador de corriente 15 del convertidor o bien, del inversor de corriente 7 del motor de hélice eléctrico 4. Sin embargo, el mismo valor nominal de la corriente  $J^*$  se dispone también de manera paralela en el generador de rampa adaptativo 26. El lado de salida de dicho generador de rampa adaptativo 26 conforma, de esta manera, la dinámica admisible explicada anteriormente, de los generadores diesel 8, 9 de la instalación de generadores diesel 5. Sin embargo, para conceder el rango de variación necesario o bien, la libertad a la regulación de velocidad 17, el valor de salida del generador de rampa adaptativo 26 pasa por la etapa de compensación positiva 28 o bien, la etapa de compensación negativa 29, en la unidad superior para la limitación del valor de corriente 32 o bien, en la unidad inferior para la limitación de la corriente 33 del controlador de velocidad 17. De esta manera, para el controlador de velocidad 17 se puede conducir el valor nominal de corriente  $J^*$  a transmitir al controlador de corriente 15 del convertidor o bien, del inversor de corriente 7 del motor de hélice eléctrico 4, dentro de un rango de variación que varía en relación con su posición y su extensión, en donde mediante dicho rango de variación se obtiene aproximadamente una ventana móvil para el valor

nominal de la corriente  $J^*$  que es transmitido por el controlador de velocidad 17 al controlador de corriente 15. Dentro de dicha ventana móvil, el controlador de velocidad 17 presenta libertad para la conducción del valor nominal de la corriente  $J^*$ .

5 El controlador de velocidad 17 opera con su dinámica completa dentro de dicho rango de variación que se puede modificar cuantitativamente y en relación con su posicionamiento o bien, dentro de la ventana móvil explicada anteriormente. De esta manera, se generan en la red de a bordo 6 fluctuaciones de la tensión, dado que la excitación de los generadores sincrónicos 9 de la instalación de generadores diesel 5, ya no puede seguir temporalmente el valor nominal de la corriente  $J^*$ , en la forma en que se transmite al convertidor o bien, al inversor de corriente 7 del motor de hélice eléctrico 4. La corriente reactiva del lado de la red de a bordo, desde el convertidor o bien, el inversor de corriente 7 asignado al motor de hélice eléctrico 4, genera dichas fluctuaciones de la tensión mediante la reactancia del generador sincrónico 9, que generalmente en los buques resulta para  $x_d'' = 14\%$  a  $18\%$ . La magnitud de la compensación positiva 38 y de la compensación negativa 38, como se predetermina mediante el generador de rampa adaptativo 26 para la extensión del rango de variación o bien, de la ventana móvil, se ajusta de manera tal que la corriente reactiva del lado de la red de a bordo que resulta de ello o que se genera de esta manera, genera una caída de tensión ante la reactancia de un generador 9, que siempre se encuentra dentro de la tolerancia de tensión admisible en la red de a bordo 6. Las fluctuaciones rápidas de la tensión dentro de la tolerancia de tensión admisible en la red de a bordo 6, no resultan críticas para su funcionamiento. La compensación positiva y la negativa 38 son una función del valor de velocidad  $|n|$  del motor de hélice eléctrico 4, dado que el factor de potencia del lado de la red de a bordo, depende de la modulación del convertidor o bien, del inversor de corriente 7 asignado al motor de hélice eléctrico 4. Además, la compensación positiva y la negativa 26 dependen del número  $k$  de generadores sincrónicos 9 de la instalación de generadores diesel 5 que alimentan la red de a bordo 6, particularmente de manera aproximadamente proporcional, dado que la potencia de cortocircuito  $S_k''$  en la red de a bordo 6, también resulta aproximadamente proporcional al número  $k$  de generadores sincrónicos 9 de la instalación de generadores diesel 5 que alimentan la red de a bordo 6.

25 Por otra parte, el tiempo de aceleración y el tiempo de reducción  $T$  del generador de rampa adaptativo 26 del par de torsión, para el valor nominal de la corriente  $J^*$  a transmitir desde el controlador de velocidad 17 al controlador de corriente 15 del convertidor o bien, del inversor de corriente 7 del motor de hélice eléctrico 4, se pueden modificar considerando el respectivo estado de funcionamiento de los generadores diesel 8, 9 de la instalación de generadores diesel 5 que alimenta la red de a bordo 6 con energía eléctrica.

30 Otro límite negativo 39 para el valor nominal de la corriente o bien, del par de torsión  $J^*$ , resulta de una curva característica 40 que depende de la velocidad  $n$ . Dicho límite prevé que el par de torsión que genera el frenado, ante velocidades positivas  $n$ , es decir, ante una marcha de avance, se limite considerablemente, por ejemplo, en un 40% del momento de frenado máximo a disposición, por una parte, para proteger el casco del buque ante dicha carga indeseada, y para evitar vibraciones del buque. Dicho límite retrocede en primer lugar, en el caso de velocidades negativas  $n$ , es decir, en una marcha de retroceso, sin embargo, por ejemplo, sólo en un 60% del momento de frenado máximo a disposición, por una parte, para no dañar el cuerpo del buque y, por otra parte, para cuidar el cojinete para el árbol de accionamiento 3 de la hélice del buque 2, que en el caso de una marcha de retroceso se tracciona hacia atrás.

40 La parada inmediata conforme a la presente invención, no se utiliza como un descenso normal del valor nominal de velocidad  $n^*$  de una reducción de la velocidad de marcha del buque, sino que se utiliza para la detención lo más rápida posible de la hélice del buque 2. De esta manera, en situaciones de emergencia se puede reducir el riesgo de vidas humanas y/o de daños materiales, por ejemplo, en el caso que se deba iniciar la parada inmediata ante el aviso "hombre en la borda", para evitar que una persona que se encuentra en el agua sea alcanzada por una hélice del buque 2, y sea dañada por dicha hélice.

45 Para dicho fin, a bordo del buque se encuentra, al menos, un pulsador de alarma preferentemente rojo, con la inscripción "parada inmediata", con cuyo accionamiento se desarrolla un secuencia de frenado automatizada, con el fin de detener la hélice del buque 2 en un periodo de tiempo lo más reducido posible, por ejemplo, alrededor de 30 a 60 segundos. Un pulsador de alarma de esta clase se debe disponer, al menos uno, en el puente del buque. En el caso de buques grandes, se puede disponer de pulsadores de esta clase, por ejemplo, en la cubierta de popa, etc. Dichos pulsadores de alarma se pueden conectar en paralelo, y pueden generar la operación de un relé autoenclavador, o se pueden encontrar conectados en serie y pueden generar la caída de un relé que no es autoenclavador. Su salida comprende una pluralidad de conmutadores 41-44 que se accionan siempre al mismo tiempo debido a un acoplamiento mecánico 45. Por lo tanto, todos los conmutadores 41-44 presentan en cada caso una posición de "funcionamiento normal" y una posición de "parada inmediata". En el caso que en total sólo exista un pulsador de alarma a bordo, dicho pulsador se puede conformar como un conmutador múltiple con cuatro láminas de contacto 41-44.

En la parada inmediata de la hélice del buque 2, cada uno de los cuatro conmutadores 41-44 cumple una función determinada: El conmutador 41 se encuentra entre la palanca de control de máquinas 18 y la entrada del valor

nominal del generador de rampa 23, y se ocupa de que dicho conmutador reciba como una señal de entrada un valor cero exacto 0. Por lo tanto, la palanca de control de máquinas 18 no se debe operar en absoluto.

El conmutador 42 se encuentra entre el generador de funciones 24 para generar el tiempo de reducción TD del generador de rampa 23 en relación con la velocidad, y su entrada para la señal TD. De esta manera, ante una parada inmediata se conmuta desde el generador de funciones 24 para el funcionamiento normal, a un generador de funciones 46 para el tiempo de reducción TD del generador de rampa de velocidad 23. El valor determinado de esta manera para el tiempo de reducción TD, en el caso de una parada inmediata, también depende de la velocidad  $n$ , sin embargo, es claramente menor que el valor para el tiempo de reducción TD en el caso de un funcionamiento normal. Dicho valor se encuentra en el orden de magnitud de alrededor de los 10 segundos. Además, el tiempo de reducción TD generado por el generador de funciones 46, se reduce en el rango de velocidad superior con una velocidad en aumento  $n$ , en comparación con el tiempo de reducción TD del generador de funciones 24 para el funcionamiento normal, que se incrementa en el rango de velocidad superior con una velocidad en aumento  $n$ .

A lo largo de dicha rampa, el valor nominal de velocidad  $n^*$  se puede reducir desde la respectiva velocidad inicial hasta aproximadamente el 70% de la velocidad inicial, dentro de los 3 segundos aproximadamente. En el caso de una marcha normal, accionada ante la activación de la parada inmediata, el valor del 70% corresponde aproximadamente a una reducción del par de torsión de alrededor de cero, es decir, que la hélice gira en el agua con una velocidad de rotación correspondiente a la velocidad de marcha del buque. Dicho estado corresponde aproximadamente a una "marcha sin carga", en donde la hélice 2 no genera propulsión ni frenado alguno en el buque. De esta manera, la propulsión es generada por el buque.

Ante la activación de la parada inmediata se acciona simultáneamente un tercer conmutador 43. Dicho conmutador se dispone entre la salida del generador de funciones 27 y la entrada para el tiempo de reducción T del generador de rampa 26 del par de torsión. De esta manera, se conmuta a un generador de funciones 47, que limita el incremento de la potencia de frenado durante la parada inmediata, aproximadamente de acuerdo con la fórmula  $P = n * D^*$ . Además, dicho valor se orienta a la capacidad de reducción de los generadores diesel 8, 9 desde una potencia completa hasta una potencia de alrededor de cero, sin perder el control de esta manera. El tiempo de reducción T del generador de rampa 26 del par de torsión para la parada inmediata, se encuentra en el orden de magnitud de 1 a 10 segundos, preferentemente alrededor de los 3 segundos.

Después de que la potencia de propulsión P se haya reducido a alrededor de cero, comienza el proceso activo de frenado, en donde el motor de propulsión de la hélice 4 no sólo no entrega más potencia al eje de hélice 3, sino que se alimenta de dicha potencia y realimenta a la red de a bordo 6 a través del convertidor 7. Dicha potencia realimentada puede ser absorbida en una fracción reducida, por la red de a bordo. Una fracción, al menos, mayor, se transforma en calor en las resistencias de frenado 48, 49. Además, las resistencias de frenado 48, 49 se pueden conectar a la red de a bordo 6 mediante interruptores 50, 51 según sea necesario. El dispositivo de control utilizado para ello se representa en la figura 3, y se describe a continuación.

Las resistencias de frenado 48, 49 pueden gastar o bien, consumir junto con la red de a bordo 6 sólo una potencia predeterminada. La potencia de frenado en lo posible no debe alcanzar dicho valor, dado que de lo contrario la potencia activa P generada por los generadores diesel 8, 9 alcanzaría el valor cero, por lo que dichos generadores se encontrarían fácilmente fuera de control.

Por este motivo, en la salida eléctrica 52 de cada generador sincrónico 9 se conecta un medidor de potencia 53, para medir continuamente la potencia P alimentada por dicho generador 9 a la red de a bordo 6. Su señal de salida es transformada por un convertidor 54 en una señal de potencia 55 normalizada (activa). Dichas señales de potencia 55 (activa) de todos los generadores activos 9, es decir, de todos aquellos generadores 9 cuyos interruptores de potencia 34 se encuentran conectados a la red de a bordo 6, se suministran a una unidad 56 que a partir de dichas señales 55 conforma la señal con el valor de señal  $P_{min}$  menor o bien, mínimo.

Dicho valor de señal se compara con un valor de referencia P que se ajusta, por ejemplo, al 3% de la potencia nominal de un generador 9. De esta manera se conforma el valor  $P - P_{min}$ . En el caso que  $P_{min}$  sea menor que P, el valor de diferencia resulta positivo, un controlador PI 57 conectado a continuación o un integrador integra en su salida 58 hasta un valor limitador superior 59, que se ajusta en 0 (cero). La señal 58 llega como una señal limitadora negativa, a la unidad inferior para la limitación del valor de corriente 33. De esta manera, el valor nominal  $J^*$  para el momento de frenado  $D^*$  se conduce gradualmente a aproximadamente el valor cero y, de esta manera, se reduce la potencia de frenado hasta que la potencia de frenado mínima  $P_{min}$  de todos los generadores activos 9, se encuentre nuevamente por encima del valor límite de potencia P. Dado que después la señal de diferencia  $P - P_{min}$  resulta nuevamente negativa, y el controlador PI 57 integra gradualmente descendiendo hasta su valor límite negativo 60, que se ajusta en -1. De esta manera, el valor nominal de la corriente  $J^*$  se libera nuevamente, y el valor nominal del momento de frenado  $D^*$  puede descender nuevamente, en donde se incrementa nuevamente la potencia de frenado eventualmente realimentada.

Finalmente, ante la activación de la secuencia para la parada inmediata, se acciona otro conmutador 44 que se encuentra, por una parte, en la línea 39 entre la salida del generador de curva característica 40 para limitar el momento de frenado  $D^*$  en relación con la velocidad, durante el funcionamiento normal y, por otra parte, en la unidad inferior para la limitación del valor de corriente 33. De esta manera, dicho valor límite 39 es conmutado por el generador de curva característica 40, a un generador de curva característica 61 para la limitación del momento de frenado  $D^*$  en relación con la velocidad, en el caso de una parada inmediata. El generador de curva característica 61 para la parada inmediata se diferencia del generador de curva característica 40 para el funcionamiento normal, mediante el hecho de que el valor límite para el momento de frenado admisible  $D^*$  desciende en el rango de velocidad inferior, por ejemplo, en un 80% del par de torsión en el caso de una marcha de avance accionada. De esta manera, una parada inmediata rápida presenta prioridad frente al desgaste de los cojinetes para el árbol de accionamiento 3.

La figura 3 muestra el circuito 62 para la conexión de las resistencias de frenado 48, 49. Dicho circuito alimenta del bloque de regulación 10 como señales de entrada, la velocidad real  $n$  y el valor nominal del par de torsión  $D^*$  ( $= J^*$ ). Un multiplicador 63 conforma el producto de ambas señales  $n$ ,  $D^*$ . Dicho producto es una magnitud para la potencia activa actual  $P$  del sistema de propulsión 1.

En el caso que el producto  $n * D^*$  sea positivo, esto significa que el motor de hélice 4 proporciona energía en el eje de accionamiento 3. El buque es propulsado ya sea en el sentido de la marcha de avance, hacia adelante, o en el sentido de la marcha de retroceso, hacia atrás. Para ello, los generadores 9 proporcionan la potencia requerida. Las resistencias de frenado no se utilizan y se encuentran desconectadas. Esto se identifica mediante el hecho de que en los módulos 64, 65 conectados a continuación, en el caso de los respectivos valores de entrada positivos, la señal de salida es lógica 0 (cero) o negativa.

Si por el contrario, el producto  $n * D^*$  es negativo, de esta manera el buque se frena mediante el motor de propulsión 4 en cuestión. Además, la hélice de buque 2, el árbol de accionamiento 3 y el motor de propulsión, se accionan de manera mecánica, por una parte, mediante las propias masas de inercia y, por otra parte, por la hélice de buque 2 que se mantiene en rotación mediante el agua que pasa por dicha hélice. Dicha energía se alimenta a la red de a bordo 6, y debe ser consumida eventualmente por las resistencias de frenado 48,49, es decir, que se transforma en calor. Además, dicha energía se conecta de manera selectiva a la red de a bordo 6, a través de los interruptores 50, 51.

La decisión de cuándo una resistencia de frenado 48, 49 se conecta a la red de a bordo 6, es tomada por los módulos 54, 65. En el caso que la señal de salida 66 del multiplicador 63 no alcance un valor límite predeterminado  $M_1$ ,  $M_2$  para la potencia negativa, es decir, que genera el frenado, de esta manera el bloque de circuitos 64, 65 en cuestión cambia en la salida su estado lógico, hasta un valor lógico 1. Preferentemente, los valores límite  $M_1$ ,  $M_2$  para diferentes resistencias de frenado 48, 49 se ajusta a diferentes niveles, por ejemplo, por una parte, a  $M_1 = -0,1 * P_N$  y, por otra parte, a  $M_2 = -0,15 * P_N$ , en donde  $P_N$  significa la potencia nominal del sistema de propulsión. Además, los módulos de señalización de valor límite 64 están provistos respectivamente de una histéresis  $H_y$ , por ejemplo,  $H_y = 0,03 * P_N$ . Esto significa que la respectiva señal de salida 67, 68 vuelve al valor lógico 0, justo cuando la señal 66 proporcional a la potencia de frenado se haya incrementado, al menos, alrededor del valor  $H_y$ , por encima del valor límite ajustado  $M_1$ ,  $M_2$ .

Un elemento temporizador 69, 70 conectado a continuación de cada módulo de señalización de valor límite 64, 65, se ocupa de que la señal de activación 71, 72 en cuestión no persista más allá de un intervalo de tiempo  $T$  predeterminado que supera las resistencias de frenado 48, 49 sin ocasionar daños, por ejemplo, 30 segundos. Para dicho fin, los elementos temporizadores 69, 70 están diseñados de manera tal que su señal de salida 71,72 conectada a cada flanco en aumento de la señal de entrada  $I$  en cuestión, siempre descienda nuevamente a más tardar después del desarrollo del intervalo de tiempo  $T$  predeterminado.

Cuando se ejecuta la parada inmediata conforme a la presente invención, a partir del funcionamiento nominal se obtiene el desarrollo representado en la figura 4, para el par de torsión  $D$  (línea trazada), y para la potencia  $P$  (línea punteada) en relación con la velocidad  $n$ .

Desde el accionamiento del pulsador de activación para la parada inmediata, el valor nominal de velocidad  $n^*$  se desarrolla a lo largo de una rampa generada por el generador de rampa de velocidad 23, de acuerdo con el tiempo de reducción  $TD$  recibido por el generador de funciones 46, de manera continua hasta el nuevo valor 0. El tiempo de reducción  $TD$  utilizado se encuentra en el orden de magnitud de alrededor de los 10 segundos.

En la marcha accionada en primer lugar, la superposición de la rotación de la hélice del buque 2 con el movimiento del buque, genera una línea helicoidal para cada pala de hélice, cuya pendiente es menor que la inclinación de la pala de hélice en comparación con el plano de la hélice. La hélice de buque 2 desplaza agua en contra del sentido de la marcha del buque, y propulsa dicho buque. Si se reduce el par de torsión del motor, dicho movimiento relativo entre las palas de hélice y el agua, frena rápidamente la hélice 2. Por lo tanto, la hélice 2 puede seguir de manera óptima un descenso de la velocidad nominal  $n^*$ , también cuando el motor de propulsión 4, condicionado por la

5 unidad inferior para la limitación de la corriente 33, requiere de un periodo de tiempo de alrededor de 3 segundos, para pasar de un estado accionado con carga completa, a una marcha sin carga o bien, a una velocidad aproximadamente "sincrónica" en relación con la marcha del buque, en donde el par de torsión D generado asciende a alrededor de cero. Después de dichos 3 segundos, la velocidad de la hélice ha disminuido desde el 100% a un valor entre el 70% y el 80% de la velocidad original, particularmente entre 73% y 75%.

10 A dicha primera fase 73 con el par de torsión positivo D, le sigue ahora una segunda fase 74 en la que el par de torsión D resulta negativo, el motor de hélice 4 comienza el frenado de manera activa. Dado que el proceso de frenado ya no resulta favorecido por el agua, la velocidad n desciende lentamente como al comienzo, mientras que el incremento del momento de frenado D permanece en valores negativos de manera aproximadamente constante. Dicho incremento es influenciado por el generador de rampa 26. Por consiguiente, la curva trazada para el par de torsión D resulta más pronunciada en comparación con la velocidad n.

15 Al mismo tiempo, se incrementa la potencia de frenado  $P_{Br}$ , dado que la velocidad n no desciende en la medida en que el momento de frenado D se incrementa. Por lo tanto, el producto  $P = D * n$  resulta mayor. En tanto que la potencia de frenado P realimentada aún resulte relativamente reducida, por ejemplo, menor a  $0,1 * P_N$ , la red de a bordo 6 se encuentra en condiciones de absorber dicha potencia. Tan pronto como la potencia de frenado  $P_{Br}$  haya alcanzado alrededor del 10% de la potencia de propulsión nominal  $P_N$ , la primera resistencia de frenado 48 se conecta a la red de a bordo 6, con un 15% de la potencia de propulsión nominal  $P_N$  de la segunda resistencia 49. Las resistencias de frenado 48, 49 operan en la constante relativa en tensión  $U_N$  de la red de a bordo 6, de manera que su potencia absorbida se predetermine mediante  $P_{Bw} = U_N * I = U_N^2 / R$ , en donde R es la resistencia total de un resistencia de frenado 48, 49.

20 Cuando la potencia de frenado  $P_{Br}$  realimentada se continúa incrementando, y resulta mayor que la absorbida por la red de a bordo 6, y se puede consumir en las resistencias de frenado 48, 49, la potencia de los generadores diesel 8, 9 ha retrocedido a cero. Además, los generadores diesel 8, 9 pueden perder el control. Por lo tanto, se mide 53, 54 la potencia de los generadores 9, y se limita el valor nominal para el momento de frenado  $D^*$  mediante el controlador PI 57, de manera tal que desde todos los generadores activos 9 se pueda alimentar todavía una potencia mínima  $P_{min}$  a la red de a bordo 6. Dicha fase 75 se caracteriza porque la potencia  $P_{Br}$  permanece aproximadamente constante, es decir, en un valor que resulta levemente menor (aproximadamente  $k * P_{min}$ , comp. figura 2) que la potencia  $P_{Bn}$  absorbida por la red de a bordo 6, más la potencia  $P_{Bw}$  transformada en calor en todas las resistencias de frenado activadas 48, 49:

30 
$$P_{Br} = P_{Bn} + S P_{Bw} + k * P_{min} = const.$$

debido a

$$P_{Br} = D * n = const.$$

en dicha fase 75, el par de torsión D registrado en comparación con la velocidad n sigue aproximadamente una curva hiperbólica, en donde el par de torsión D se incrementa gradualmente hacia valores siempre más negativos.

35 Esto resulta posible, dado que el generador de funciones 40 que en la marcha de avance accionada prevé un valor límite reducido para el momento de frenado D de, por ejemplo, sólo el 40% del momento nominal  $D_N$ , se reemplaza ante una parada inmediata mediante el cambio de posición del interruptor 44, por el generador de funciones 61 que prevé un valor del momento de frenado D en el rango de velocidad inferior que se incrementa hacia valores más negativos, convencionalmente hasta alrededor del 80% de  $D_N$  para velocidades por debajo de aproximadamente el 30% de la velocidad nominal  $n_N$ .

40 En cuanto el valor nominal de la corriente  $J^*$  o bien, el valor nominal del par de torsión  $D^*$  alcance dicha limitación 39, reducida durante la parada inmediata, el momento de frenado D permanece aproximadamente constante, y la potencia de frenado desciende de manera lineal con la velocidad en descenso n (fase 76) hasta que la hélice 2 se haya detenido. Dicho estado se alcanza después de alrededor de 30 a 60 segundos.

45

## REIVINDICACIONES

- 5 **1.** Método para una detención lo más rápida posible de la hélice (2) accionada eléctricamente de un buque (parada inmediata), **caracterizado porque** la energía de frenado de, al menos, un motor eléctrico (4) del sistema de propulsión del buque (1) se realimenta como energía eléctrica a una red de a bordo (6), en donde en la parada inmediata la energía de frenado realimentada se transforma en calor, al menos parcialmente, en, al menos, una resistencia de frenado (48,49) conectada temporalmente a la red de a bordo (6).
- 2.** Método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** en la parada inmediata la energía de frenado se realimenta desde un convertidor y/o inversor de corriente (7) que alimenta el motor eléctrico (4) durante el régimen de marcha, a la red de a bordo (6).
- 10 **3.** Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 2, **caracterizado porque** en la parada inmediata se calcula o se detecta la potencia de frenado realimentada, particularmente mediante la multiplicación (63) del valor real de velocidad  $n$  por el valor nominal del par de torsión  $D^*$  generado por un controlador de velocidad (10).
- 15 **4.** Método de acuerdo con la reivindicación 1 ó 3, **caracterizado porque** en la parada inmediata se conecta a la red de a bordo (6), al menos, una resistencia de frenado (48,49), cuando el valor calculado o determinado de la potencia de frenado realimentada resulta cuantitativamente mayor que un valor umbral predeterminado  $M_1, M_2$ .
- 5.** Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** en la parada inmediata, al menos, una resistencia de frenado (48, 49) conectada a la red de a bordo (6), se puede desconectar nuevamente de la red de a bordo (6) justo cuando se cumple una de las siguientes condiciones:
- 20 a) el valor absoluto de la potencia de frenado realimentada, desciende por debajo de un segundo valor umbral menor (histéresis  $M_1-Hy, M_2-Hy$ ), o
- b) desde la conexión de la resistencia de frenado (48, 49) transcurre un intervalo de tiempo predeterminado (tiempo máximo de conexión T).
- 6.** Método de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** en la parada inmediata, la estructura del controlador de velocidad (10) del sistema eléctrico de propulsión por hélice (1), no se modifica en comparación con la estructura durante el funcionamiento normal.
- 25 **7.** Método de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** en la parada inmediata, uno o una pluralidad de parámetros del controlador de velocidad (10) del sistema eléctrico de propulsión por hélice (1), no se modifican en comparación con los parámetros correspondientes durante el funcionamiento normal.
- 30 **8.** Método de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** en la parada inmediata, el valor nominal de velocidad  $n^*$  de la palanca de control de máquinas (18) se conmuta al valor nominal "0" fijado.
- 9.** Método de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** en la parada inmediata, el tiempo de reducción TD se reduce en un generador de rampa (23) del valor de velocidad nominal, particularmente mediante la conmutación (42) de la entrada a otro generador de funciones (46), para el tiempo de reducción TD.
- 35 **10.** Método de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** en la parada inmediata, el tiempo de reducción T se reduce en un generador de rampa (26) del valor nominal del par de torsión, particularmente mediante la conmutación (43) de la entrada a otro generador de funciones (47), para el tiempo de reducción T.
- 40 **11.** Método de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** en la parada inmediata, una curva característica que delimita el momento de frenado, se desplaza hacia valores absolutos mayores admisibles del momento de frenado D, particularmente mediante la conmutación (44) de una entrada del valor límite de una unidad inferior limitadora del valor de corriente (33), a otro generador de funciones (61).
- 12.** Método de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** se mide (53) la potencia alimentada a la red de a bordo (6) de cada generador activo (9).
- 45 **13.** Método de acuerdo con la reivindicación 12, **caracterizado porque** en la parada inmediata, la potencia mínima alimentada por un generador (9) a la red de a bordo (6), se compara con un valor umbral (P), y cuando es inferior a dicho valor, se reduce la potencia de frenado particularmente mediante un descenso o bien, una limitación (58) del valor nominal del par de torsión  $D^*$ .

- 5 14. Dispositivo para una detención lo más rápida posible de, al menos, una hélice (2) accionada eléctricamente de un buque (parada inmediata), **caracterizado por** una red de a bordo (6) que está diseñada para absorber energía de frenado realimentada por, al menos, un motor eléctrico (4) del sistema de propulsión del buque (1) y, al menos, una resistencia de frenado (48, 49) que se puede conectar a la red de a bordo (6) mediante un interruptor (50, 51), relé o similar, para la conversión parcial a calor, de la energía de frenado alimentada a la red de a bordo (6) en el caso de una parada inmediata.
- 10 15. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 15, **caracterizado por** un convertidor y/o inversor de corriente (7) que alimenta el motor eléctrico (4) durante el régimen de marcha, que está diseñado para alimentar la energía de frenado realimentada por, al menos, un motor eléctrico (4) del sistema de propulsión del buque (1), a la red de a bordo (6), en el caso de una parada inmediata.
- 15 16. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 14 a 15, **caracterizado por**, al menos, una unidad (63) para calcular o determinar la potencia de frenado realimentada en el caso de una parada inmediata, particularmente un multiplicador, por una parte, para el valor real de velocidad  $n$  y, por otra parte, para el valor nominal del par de torsión  $D^*$  generado por un controlador de velocidad (10).
- 20 17. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 16, **caracterizado por** un comparador, un interruptor de valor límite (64, 65) o similar, para la comparación del valor calculado o determinado de la potencia de frenado realimentada, con un valor umbral predeterminado  $M_1$ ,  $M_2$ , cuya salida (67, 68) se acopla con, al menos, un interruptor (50, 51) para la conexión de, al menos, una resistencia de frenado (48, 49) a la red de a bordo (6).
- 25 18. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 14, 16 ó 17, **caracterizado por**, al menos, una unidad de histéresis (64, 65) para abrir nuevamente el interruptor (50, 51) que conecta una resistencia de frenado (48, 49) con la red de a bordo (6), cuando se excede un segundo valor umbral cuantitativamente menor (histéresis  $M_1$ -Hy,  $M_2$ -Hy) o no se alcanza en términos cuantitativos.
- 30 19. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 14 ó 16 a 18, **caracterizado por**, al menos, una unidad de reloj (69, 70) para abrir nuevamente el interruptor (50, 51) que conecta una resistencia de frenado (48, 49) con la red de a bordo (6), cuando desde la conexión de la resistencia de frenado (48, 49) transcurre un intervalo de tiempo  $T$  predeterminado.
- 35 20. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 14 a 19, **caracterizado por** uno o una pluralidad de conmutadores (41-44), relés conmutadores o similares, para modificar uno o una pluralidad de parámetros del controlador de velocidad (10) del sistema eléctrico de propulsión por hélice (1), en el caso de una parada inmediata, en comparación con los parámetros correspondientes durante el funcionamiento normal.
- 40 21. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 20, **caracterizado por** un conmutador (41), un contacto de relé conmutador o similar, que en el caso de una parada inmediata conmuta el valor nominal de velocidad  $n^*$  de la palanca de control de máquinas (18) al valor nominal "0" fijado.
- 45 22. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 20 ó 21, **caracterizado por** un conmutador (42), un contacto de relé conmutador o similar, que en el caso de una parada inmediata, conmuta el tiempo de reducción TD en un generador de rampa (23) del valor de velocidad nominal, a un valor reducido que es generado preferentemente por un generador de funciones (46) por separado.
- 50 23. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 20 a 22, **caracterizado por** un conmutador (43), un contacto de relé conmutador o similar, que en el caso de una parada inmediata, conmuta el tiempo de reducción (T) en un generador de rampa (26) del valor nominal del par de torsión, a un valor reducido que es generado preferentemente por un generador de funciones (47) por separado.
- 55 24. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 20 a 23, **caracterizado por** un conmutador (44), un contacto de relé conmutador o similar, que en el caso de una parada inmediata, conmuta desde un generador de curva característica (40) que limita el momento de frenado durante el funcionamiento normal, a un generador de curva característica (61) que limita el momento de frenado en el caso de una parada inmediata, con valores absolutos mayores admisibles del momento de frenado.
- 60 25. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 14 a 24, **caracterizado por** uno o una pluralidad de sensores (53), transductores o similares, para medir la potencia alimentada a la red de a bordo (6) de cada generador activo (9).
- 65 26. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 25, **caracterizado por** un comparador, un integrador (57) o similar, para comparar en el caso de una parada inmediata, la potencia mínima  $P_{\min}$  alimentada por un generador (9) a la red de a bordo (6), con un valor nominal  $P$  predeterminado.

27. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 26, **caracterizado porque** la señal de salida (58) del comparador, del integrador (57) o similar, se transmite a una unidad (33) que limita el valor nominal para el momento de frenado  $D^*$ , con el fin de reducir el valor nominal del momento de frenado  $D^*$  cuando la potencia mínima  $P_{\min}$  alimentada por un generador (9) a la red de a bordo (6) resulta menor que un valor umbral  $P$  predeterminado.



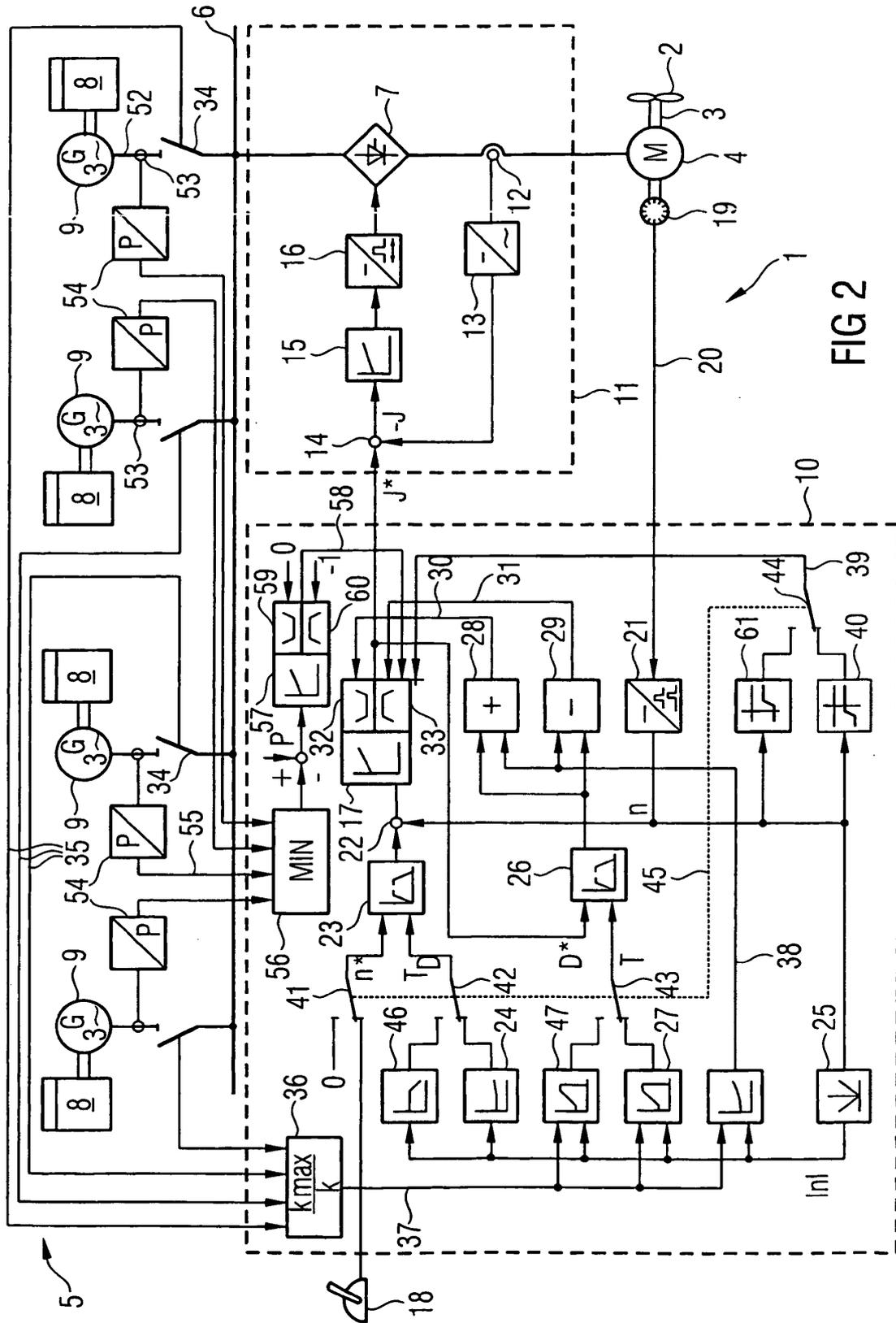


FIG 2

