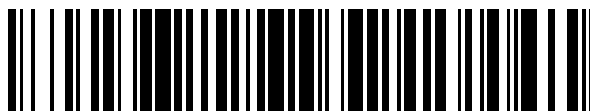


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 790 973**

51 Int. Cl.:

B63H 21/17 (2006.01)
B63H 23/24 (2006.01)
B63J 3/02 (2006.01)
B63H 11/04 (2006.01)
B63H 11/00 (2006.01)
B60L 3/00 (2009.01)
B60L 50/13 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.01.2011 PCT/EP2011/051323**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **04.08.2011 WO11092330**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.01.2011 E 11705171 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.03.2020 EP 2531366**

54 Título: **Sistema de propulsión de buques con varios ejes de propulsión eléctrica**

30 Prioridad:

01.02.2010 DE 102010006599

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.10.2020

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Werner-von-Siemens-Straße 1
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**HARTIG, RAINER;
TIGGES, KAY y
WYCISK, MICHAEL**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 790 973 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

Sistema de propulsión de buques con varios ejes de propulsión eléctrica

5 La presente invención se relaciona con un sistema de propulsión de buques con varios ejes de propulsión eléctrica según la reivindicación 1, así como un empleo favorable de tal sistema de propulsión de buques según la reivindicación 13 y un procedimiento para operar un sistema de propulsión de buques según la reivindicación 14.

10 Los sistemas de propulsión eléctrica en buques (por ejemplo, en buques totalmente eléctricos) incluyen habitualmente uno o varios motores de propulsión eléctrica para impulsar en cada caso una unidad de propulsión (por ejemplo, una hélice), alimentados a través de en cada caso un convertidor por una red eléctrica del buque (designada frecuentemente también como "red de conducción"). La red eléctrica es alimentada a su vez por uno o varios generadores diésel. La red eléctrica tiene además una tensión de amplitud y frecuencia predeterminadas fijas, por ejemplo, una tensión media con una tensión nominal de 6.6 kV a una frecuencia nominal de 60 Hz. En cada caso hay conectado entre el convertidor y la red aún un transformador. Los convertidores transforman la tensión de red (opcionalmente subtransformada) en una tensión necesaria para el funcionamiento de los motores de propulsión con amplitud y frecuencia diferentes de las de la tensión de red.

15 Los consumidores de baja tensión a bordo de un buque (por ejemplo, aparatos de navegación y de control, sistema de megafonía, iluminación) son alimentados a través de una red de a bordo separada, que tiene habitualmente una tensión nominal de 400 V a una frecuencia nominal de 50 Hz o 440V a 60 Hz. La red de a bordo puede ser alimentada con energía eléctrica, independientemente de la red de conducción, por generadores propios de la red de a bordo. Alternativamente, la red de a bordo puede alimentarse a través de un convertidor de la red de a bordo y opcionalmente un transformador de la red de conducción. El convertidor de la red de a bordo y opcionalmente el transformador transforma(n) la tensión de la red de conducción en una tensión con la amplitud y frecuencia de la red de a bordo.

25 Una gran ventaja de esta solución es que mediante el convertidor pueden evitarse efectos retroactivos sobre la red de conducción debidos a golpes de carga (por ejemplo, cuando con mar gruesa una hélice sale del agua y se sumerge de nuevo), cuando éste esté dimensionado correspondientemente grande. Además de muchas otras ventajas, estos conceptos de propulsión tienen, sin embargo, el inconveniente de que precisan un mayor número de convertidores para transformar la tensión en la red de conducción con la demanda de espacio y costes correspondientes.

30 Otra solución conocida de propulsión eléctrica, que no requiere tal convertidor, consiste en acoplar los generadores y los motores de propulsión entre sí sin convertidores intermedios. En tal solución de propulsión, uno o varios motores de propulsión de velocidad variable se operan sin convertidor intermedio directamente con la tensión de amplitud variable y frecuencia variable generada por uno o varios generadores de velocidad variable.

35 El control y/o regulación de los motores y, por consiguiente, de las unidades de propulsión se lleva a cabo, por tanto, indirectamente a través de un control y/o regulación de las máquinas de combustión interna para la propulsión de los generadores. Los motores de propulsión están además conectados de manera eléctricamente fija con los generadores, es decir, un giro de los generadores origina un giro correspondientemente proporcional de los motores de propulsión eléctrica. Se reproduce, por consiguiente, la función de un eje mecánico con la ayuda de máquinas eléctricas. Dicha solución de propulsión se designa frecuentemente como un "eje eléctrico".

40 Además, también es conocido el extraer energía eléctrica del eje eléctrico a través de un convertidor de la red de a bordo y opcionalmente un transformador, es decir, un convertidor de la red de a bordo y opcionalmente un transformador transforma(n) la tensión de amplitud variable y frecuencia variable generadas por el (los) generador(es), en una tensión con amplitud constante y frecuencia constante para una red de a bordo.

45 Los buques multicasco como, por ejemplo, catamaranes o trimaranes con velocidades de más de 40 nudos sirven especialmente para aplicaciones de transbordadores rápidos y de marina, en las que se alcanzan altas velocidades. Gozan, por tanto, de creciente popularidad. Estos buques tienen para la propulsión, por ejemplo, chorros de agua, que están mecánicamente acoplados directamente con motores diésel o turbinas de gas y son impulsados por ello/as. Debido a la propulsión mecánica directa se producen, sin embargo, restricciones en el diseño del buque, que evitan un diseño óptimo del buque en términos de construcción naval (entre otros, en los aspectos de la hidrodinámica y funcionalidad). De la GB 25 734 se conoce un buque con cuatro ejes de propulsión eléctrica.

50 De la DE 33 10 506 se conoce una distribución para el suministro continuo de la red de a bordo por una red de conducción con propulsión trifásica del buque con frecuencia variable y convertidor parcial.

Es, por tanto, objeto de la presente invención especificar, un sistema de propulsión de buques - particularmente apropiado para buques multicasco de alta velocidad -, que se distinga por una alta fiabilidad y eficiencia energética y posibilite un diseño óptimo del buque.

5 Este objeto se resuelve con un sistema de propulsión de buques según la reivindicación 1. Configuraciones favorables de este sistema de propulsión de buques son objeto de las reivindicaciones 2 a 12. Un empleo especialmente favorable del sistema de propulsión de buques es objeto de la reivindicación 13. Otra solución del objeto se logra mediante un procedimiento para operar de un sistema de propulsión de buques según la reivindicación 14. Configuraciones favorables de este sistema de propulsión de buques son objeto de las reivindicaciones 15 a 25.

10 Un sistema de propulsión de buques conforme a la invención comprende al menos un primer y un segundo eje de propulsión eléctrica para accionar en cada caso una unidad de propulsión, particularmente un chorro de agua, donde cada uno de los ejes de propulsión eléctrica comprende al menos un generador de velocidad variable accionado por una máquina de combustión interna para generar una tensión del motor con amplitud variable y frecuencia variable y al menos un motor de propulsión de velocidad variable alimentado con esta tensión del motor y acoplado con una
 15 unidad de propulsión. El primer y el segundo eje de propulsión pueden además conmutarse de un primer estado operativo, en que están separados eléctricamente entre sí, a un segundo estado operativo, en que están acoplados eléctricamente entre sí de tal manera que pueda realizarse una transferencia de energía desde el al menos un generador de un eje de propulsión al por lo menos un motor de propulsión del otro eje de propulsión.

20 Mediante el empleo de ejes de propulsión eléctrica se produce, en comparación con las propulsiones mecánicas directas, una considerablemente mayor libertad de diseño en el diseño del buque, pues las máquinas de combustión interna no pueden disponerse en las proximidades de las unidades de propulsión, sino separadas de estas en otro lugar en el buque. También en comparación con las propulsiones diésel-eléctricas alimentadas por convertidor resultan ventajas, pues suprimiendo el convertidor se ahorran espacio y peso, lo que es importante particularmente en buques multicasco de alta velocidad como, por ejemplo, catamaranes y trimaranes. Mediante la posibilidad de, en
 25 el segundo estado operativo, ceder energía eléctrica de un eje de propulsión al otro, al fallar la generación de energía en uno de los ejes de propulsión, la energía puede suministrarse mediante el al menos un generador del otro eje de propulsión. De este modo puede obtenerse una alta estabilidad del buque, lo que es particularmente importante para los buques de la Armada. Además, se puede optimizar el consumo total de energía del sistema de propulsión del buque, ya que, por ejemplo, en el rango de bajas velocidades, en que las máquinas de combustión interna trabajan con grado de eficiencia relativamente malo, se desconecta selectivamente la generación de energía de un eje de propulsión y la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de sus motores de propulsión es generada y transferida por uno o varios generadores del otro eje de propulsión.

35 Conforme a la invención, el sistema de propulsión de buques comprende aún un tercer eje de propulsión eléctrica para impulsar una unidad adicional de propulsión, particularmente un chorro de agua, donde el tercer eje de propulsión comprende al menos un generador de velocidad variable impulsado por una máquina de combustión interna para generar una tensión del motor con amplitud variable y frecuencia variable y al menos un motor de propulsión de velocidad variable alimentado con esta tensión del motor y acoplado con la unidad adicional de propulsión, y donde el primer y el tercer ejes de propulsión pueden conmutarse de un primer estado operativo, en que están separados eléctricamente entre sí, a un segundo estado operativo, en que están acoplados
 40 eléctricamente entre sí de tal manera que pueda realizarse una transferencia de energía desde el al menos un generador de un eje de propulsión al por lo menos un motor de propulsión del otro eje de propulsión. De este modo pueden elevarse aún más la fuerza de propulsión (y, por consiguiente, por ejemplo, la velocidad máxima del buque), la fiabilidad y la eficiencia energética.

45 Preferentemente, el al menos un generador presenta un devanado superconductor, particularmente un devanado superconductor de alta temperatura (HTS). El devanado superconductor puede ser un devanado del estator o un devanado del rotor rotatorio del generador. Los generadores de la tecnología de superconductores tienen, en comparación con las máquinas convencionales, una mayor densidad de potencia (es decir, potencia respecto al volumen). De este modo son posibles aún optimizaciones adicionales en el diseño del buque. Mediante el peso comparativamente menor pueden, con potencia de propulsión constante, elevarse la velocidad máxima y/o la carga útil del buque. Un generador con un devanado superconductor tiene además habitualmente, en comparación con un generador convencional sin devanado superconductor, un entrehierro magnético considerablemente mayor entre el rotor y el estator. Esto puede deberse especialmente a que el superconductor se refrigera a través de un criostato de vacío o un equipo de enfriamiento similar, cuya y/o cuyas pared(es) discurre(n) en el entrehierro. El entrehierro magnético relativamente grande produce que el generador tenga una reactancia síncrona considerablemente menor
 55 que un generador convencional. Esto conlleva que para la misma potencia eléctrica un generador HTS tenga, en comparación con un generador convencional, una curva característica de corriente-tensión claramente más rígida. De este modo no se produce ninguna caída de la tensión generada por el generador en caso de conexiones o impactos de carga. De este modo pueden reducirse las oscilaciones de tensión y de frecuencia en el eje eléctrico. Con ello no se necesita ninguna regulación compleja para el eje eléctrico para estabilizar la tensión del eje de propulsión y la velocidad de los motores de propulsión y/o de la unidad de propulsión.

Si el al menos un motor de propulsión tuviera un devanado superconductor, especialmente un devanado superconductor de alta temperatura (HTS), podría configurarse, para tamaño constructivo muy pequeño, muy potente y de alto par, lo cual es especialmente significativo para buques de alta velocidad como, por ejemplo, catamaranes y trimaranes.

- 5 Preferentemente, el devanado superconductor es un devanado del rotor rotatorio, pues en éste la superficie a enfriar puede mantenerse menor que en un devanado superconductor del estator.

El acoplamiento de los ejes de propulsión puede realizarse de manera especialmente pobre en pérdidas a través de una conexión por cables eléctricos, que comprende preferentemente un superconductor, particularmente un superconductor de alta temperatura (HTS).

- 10 Según una ordenación especialmente preferente, los ejes segundo y tercero de propulsión sirven como propulsión principal para un rango inferior de velocidades del buque (por ejemplo, de cero a 30 nudos) y el primer eje de propulsión, solo o junto con los ejes segundo y tercero de propulsión, sirve(n) como propulsión principal para un mayor rango de velocidades hasta la velocidad máxima (por ejemplo, hasta 45 nudos) del buque.

- 15 La máquina de combustión interna del primer eje de propulsión está diseñada además ventajosamente como una turbina de gas y las máquinas de combustión interna de los ejes segundo y tercero de propulsión están diseñadas ventajosamente como motores diésel.

- 20 El sistema de propulsión de buques comprende preferentemente un convertidor de la red de a bordo alimentado con la tensión del motor con amplitud variable y frecuencia variable de uno de los ejes de propulsión, convertidor que transforma esta tensión del motor en una tensión con amplitud constante y frecuencia constante para una red de a bordo. Se obtienen ventajas particulares, además, cuando el al menos un generador del eje de propulsión presenta un devanado superconductor y, por consiguiente, el eje de propulsión se distingue por una particular rigidez. Previendo las oscilaciones de tensión y de frecuencia en el eje eléctrico debidas a la rigidez de la curva característica del generador y/o de los generadores, pueden evitarse entonces también las fluctuaciones no permisibles en la tensión generada por el convertidor de la red de a bordo y, por tanto, las desconexiones de seguridad circuitos del convertidor de la red de a bordo o el sobredimensionamiento del convertidor de la red de a bordo.
- 25

- 30 Para aumentar adicionalmente la fiabilidad, el sistema de propulsión de buques comprende conforme a la invención también un primer convertidor de la red de a bordo alimentado con la tensión del motor con amplitud variable y frecuencia variable del segundo eje de propulsión, convertidor que transforma esta tensión en una tensión con amplitud constante y frecuencia constante para una primera subred de a bordo, y un segundo convertidor de la red de a bordo alimentado con la tensión del motor con amplitud variable y frecuencia variable del tercer eje de propulsión, convertidor que transforma esta tensión en una tensión con amplitud constante y frecuencia constante para una segunda subred de a bordo.

- 35 La fiabilidad se eleva aún, además, conforme a la invención, por el hecho de que ambas subredes de a bordo pueden acoplarse entre sí. Según otra ordenación favorable, el sistema de propulsión de buques comprende al menos un generador de la red de a bordo adicional para el suministro a la red de a bordo o a una subred de a bordo de una tensión de amplitud y frecuencia constantes. De este modo puede garantizarse el suministro de tensión de la red de a bordo, incluso cuando el eje de propulsión eléctrica esté desconectado (por ejemplo, en puerto) o cuando toda la potencia del generador del eje de propulsión sea necesaria para propósitos de propulsión.

- 40 Cuando el al menos un generador del eje de propulsión pueda ser impulsado por la máquina de combustión interna que lo acciona opcionalmente con una frecuencia fija o con una frecuencia variable, resultan otras posibilidades de aplicación de estos componentes. Por ejemplo, el al menos un generador puede utilizarse para el suministro de corriente del puerto a otros buques.

- 45 Según una ordenación especialmente favorable, el eje de propulsión puede conmutarse de un estado operativo, en que el al menos un generador del eje de propulsión, sin intermediación de un convertidor de la red de a bordo, está acoplado eléctricamente con el al menos un motor de propulsión del eje de propulsión y genera una tensión de amplitud y frecuencia variables, a un estado operativo, en que el al menos un generador del eje de propulsión está eléctricamente acoplado a través de un convertidor de la red de a bordo con el al menos un motor de propulsión del eje de propulsión, donde el convertidor de la red de a bordo genera una tensión de amplitud y frecuencia variables.

- 50 Del primer estado operativo presente en una operación normal puede cambiarse entonces, para pequeños requisitos de velocidad en la máquina de combustión interna para impulsar el generador, particularmente para requisitos de velocidad, que se hallen por debajo de un requisito de velocidad mínima de la máquina de combustión interna, al segundo estado operativo, en que el convertidor de la red de a bordo esté conmutado en el eje de propulsión eléctrica, es decir en la conexión eléctrica entre el al menos un generador y el al menos un motor de propulsión del

5 eje de propulsión. Por medio del convertidor de la red de a bordo y opcionalmente de uno o de varios transformadores puede alimentar entonces el motor de propulsión con una tensión, que presenta una menor frecuencia que la de la tensión generada por el generador. El motor de propulsión puede entonces accionar también a bajas velocidades la unidad de propulsión con un par relativamente alto. De este modo no es necesaria para bajas velocidades ninguna hélice de ajuste, sino que puede emplearse una hélice fija.

10 Alternativamente y/o complementariamente, el eje de propulsión puede conmutarse de un estado operativo, en que el al menos un generador del eje de propulsión, sin intermediación del convertidor de la red de a bordo, está acoplado eléctricamente con el al menos un motor de propulsión del eje de propulsión y genera una tensión de amplitud y frecuencia variables, a un estado operativo, en que la red de a bordo o subred de a bordo está acoplada eléctricamente a través del convertidor de la red de a bordo con el al menos un motor de propulsión del eje de propulsión, donde el convertidor de la red de a bordo genera una tensión de amplitud y frecuencia variables. De este modo, el motor de propulsión puede asimismo a bajas velocidades accionar la unidad de propulsión con un par relativamente alto. Además, al fallar los generadores del eje eléctrico, el motor de propulsión puede ser alimentado por la red de a bordo.

15 La invención es apropiada, debido a las ventajas antes mencionadas, especialmente para el empleo en un buque multicasco, particularmente en un catamarán o un trimarán.

La invención, así como otras configuraciones ventajosas de la invención según las características de las subreivindicaciones se describen a continuación con más detalle en las Figuras en base a ejemplos de ejecución; en ellas muestran:

- 20 FIG 1 un primer ejemplo de ejecución de un sistema de propulsión de buques conforme a la invención,
 FIG 2 una curva característica de corriente-tensión de un generador HTS al conectar una carga,
 FIG 3 un segundo ejemplo de ejecución de un sistema de propulsión de buques conforme a la invención en un primer estado operativo,
 FIG 4 el ejemplo de ejecución de la FIG 3 en un primer estado operativo especial y
 25 FIG 5 el ejemplo de ejecución de la FIG 3 en un segundo estado operativo especial.

Un sistema de propulsión de buques 1 conforme a la invención mostrado en la FIG 1 comprende tres ejes de propulsión eléctrica 11, 12, 13 para impulsar en cada caso una unidad de propulsión en forma de un chorro de agua (propulsiones por chorro de agua) 2.

30 El primer eje de propulsión 11 comprende un generador de velocidad variable 4 impulsado por una turbina de gas 3 para generar una tensión del motor con amplitud variable y frecuencia variable y un motor de propulsión de velocidad variable 5 alimentado con esta tensión del motor y acoplado con un chorro de agua 2.

35 Los ejes segundo y tercero de propulsión 12, 13 incluyen en cada caso un generador de velocidad variable 4 impulsado por un motor diésel 6 para generar una tensión del motor con amplitud variable y frecuencia variable y un motor de propulsión de velocidad variable 5 alimentado con esta tensión del motor y acoplado con un chorro de agua 2.

40 En los ejes de propulsión 11, 12, 13 están eléctricamente acoplados, en cada caso, un generador 4 y un motor de propulsión 5 a través de una barra colectora 7. La conexión de los generadores 4 y de los motores de propulsión 5 a la barra colectora 7 se lleva a cabo además en cada caso a través de un interruptor 9. La barra colectora 7 y el interruptor 9 son un componente de un sistema de conmutación 8. La barra colectora 7 del primer eje de propulsión 11 puede conectarse además a través de una conexión por cable 14 con la barra colectora 7 del segundo eje de propulsión 12 y a través de una conexión por cable 15 con la barra colectora 7 del tercer eje de propulsión 13. La conexión de las conexiones por cable 14, 15 a la barra colectora 7 se lleva a cabo además en cada caso a través de un interruptor 16.

45 A través de las conexiones por cable 14, 15 y los interruptores 16 puede acoplarse el primer eje de propulsión 11 opcionalmente con el segundo y/o el tercer eje de propulsión 12, 13.

Entre un generador 4 y la(s) turbina(s) de gas 3 y/o motor(es) diésel 6 que lo impulsa(n), así como entre el chorro de agua 2 y el motor de propulsión 5 que lo impulsa, puede conmutarse también incluso un dispositivo mecánico. Además, los ejes de propulsión 11, 12, 13 pueden tener, en lugar de un único generador 4 y motor de propulsión 5, también varios generadores y/o motores de propulsión.

5 Con la tensión de amplitud variable y frecuencia variable generada por los generadores 4 de los ejes de propulsión eléctricas 12, 13 se opera a través de un transformador 21 por añadidura en cada caso un convertidor de la red de a bordo 22, que transforma esta tensión variable en una tensión con amplitud constante y frecuencia constante para en cada caso una subred de a bordo 20. La subred de a bordo 20 alimenta los consumidores de baja tensión del buque no representados a fondo (por ejemplo, aparatos de navegación y de control, sistema de megafonía, iluminación). La subred de a bordo 20 tiene habitualmente una tensión nominal de 400V para una frecuencia nominal de 50 Hz o de 440V a 60 Hz. Ambas subredes de a bordo 20 pueden acoplarse a través de interruptor 23, de forma que el suministro de ambas subredes de a bordo 20 sea posible incluso al fallar o desconectarse uno de ambos ejes de propulsión 12, 13.

10 En cada caso, un generador del puerto 25 adicional impulsado por una máquina de combustión interna 24 sirve, preferentemente a través de un convertidor conectado aguas abajo no representado a fondo, para la alimentación en cada caso a una subred de a bordo 20 o a las subredes de a bordo 20 acopladas entre sí de una tensión con amplitud y frecuencia constantes con ejes eléctricos 12, 13 desconectados, por ejemplo, cuando el buque esté en puerto y no se precise ninguna potencia de propulsión o cuando toda la potencia de los generadores 4 se precise para la propulsión. Complementaria- y/o alternativamente, las subredes de a bordo 20 pueden ser alimentadas, en vez de por el generador del puerto 25, también por una batería o por células de combustible.

En operación normal, el sistema de propulsión de buques 1 está en un primer estado operativo, en que los interruptores 9 están cerrados y los interruptores 16 están abiertos.

20 Los motores de propulsión 5 se operan sin convertidor intermedio con la tensión con amplitud variable y frecuencia variable generada por el respectivo generador 4. El control y/o regulación de la velocidad de giro de los motores de propulsión 5 y, por consiguiente, desde la los chorros de agua 2 se lleva a cabo. por consiguiente, indirectamente mediante el control y/o regulación de la turbina de gas 3 y/o de los motores diésel 6 para impulsar los generadores 4. Un giro de la turbina de gas 3 y/o de los motores diésel 6 y, por tanto, de los generadores 4 origina, por consiguiente, un giro correspondientemente proporcional de los motores 5. Por consiguiente, se reproduce la función de un eje mecánico con la ayuda de máquinas eléctricas.

25 Los ejes segundo y tercero de propulsión 12, 13 sirven además como propulsión principal para un rango inferior de velocidades del buque (por ejemplo, hasta 30 nudos) y el primer eje de propulsión 11, solo o junto con los ejes segundo y tercero de propulsión, sirve como propulsión principal para un mayor rango de velocidades hasta la velocidad máxima (por ejemplo, 45 nudos) del buque. La potencia de los motores diésel asciende, por ejemplo, a de 1 MW a 20 MW, particularmente a 10 MW y la de la turbina de gas es de 5 MW a 30 MW, particularmente de 20 MW.

35 Los generadores 4 están diseñados además como máquinas síncronas con un devanado de campo HTS rotatorio (es decir, un devanado HTS en el rotor). Estas máquinas tienen una baja reactancia síncrona y, por tanto, gran rigidez en su curva característica de corriente-tensión. Para ejemplificar, la FIG 2 muestra para esto la curva característica de un generador síncrono con un devanado de campo HTS rotatorio y una potencia de 400kW para el caso de una conexión de carga completa de cero a 380kW. Tal máquina presenta, por ejemplo, una reactancia longitudinal síncrona $x_d=0,15$. Como puede verse en la evolución de la curva de corriente I y de la curva de tensión U, al conectarse la carga en el instante t_z no se produce ninguna caída de la tensión U. Esto demuestra el comportamiento operativo extremadamente estable de tal máquina incluso bajo fluctuaciones extremas de carga.

40 Para los convertidores de la red de a bordo 22 no son perceptibles, por consiguiente, para impactos de carga en el costado de los chorros de agua (como los que pueden originarse, por ejemplo, con mar gruesa), efectos retroactivos sobre su tensión de entrada. Los convertidores de la red de a bordo 22 pueden equiparse, por consiguiente, con considerablemente menos reservas dinámicas que al emplear máquinas síncronas convencionales sin devanado HTS como generadores en los ejes de propulsión 11, 12, 13. Además, puede prescindirse en los ejes de propulsión 11, 12, 13 de una regulación costosa para estabilizar la velocidad de giro (y/o tensión y frecuencia) del respectivo motor de propulsión 5 y/o chorro de agua 3.

Ventajosamente, los motores de propulsión 5 están diseñados también como máquinas síncronas potentes y de alto par con un devanado de campo HTS rotatorio (es decir, un devanado HTS en el rotor).

50 Cerrando el interruptor 16, para situaciones de operación particulares, pueden conmutarse el primer eje de propulsión 11 y el segundo eje de propulsión 12, así como el primer eje de propulsión 11 y el tercer eje de propulsión 13, de un primer estado operativo, en que están separados eléctricamente entre sí, a un segundo estado operativo, en que están acoplados eléctricamente entre sí de tal manera que pueda realizarse una transferencia de energía del generador 4 de un eje de propulsión al motor de propulsión 5 del otro eje de propulsión. A través de la barra colectora 7 del primer eje de propulsión 11 es además posible también una transferencia de energía entre los ejes segundo y tercero de propulsión 12, 13.

ES 2 790 973 T3

De este modo es posible, por un lado, un suministro de energía de un eje de propulsión, incluso al fallar su generador de energía (es decir, turbina de gas 3 o motor diésel 6), por lo cual puede elevarse claramente la estabilidad particularmente en buques de la armada. Por otro lado, la generación de energía puede realizarse conforme a la demanda con justo tantos generadores de energía, que estos operen en un punto de operación con un buen grado de eficiencia.

Sincronizando la amplitud, frecuencia y fase de la tensión generada por los generadores 4, un motor de propulsión 5 puede ser alimentado también al mismo tiempo por generadores 4 de diferentes ejes de propulsión.

Debido a la rigidez de las curvas características de corriente-tensión de los ejes de propulsión 11, 12, 13 puede prescindirse también en el segundo estado operativo del sistema de propulsión de buques de una costosa regulación para estabilizar la velocidad de giro (y/o tensión y frecuencia) de los motores de propulsión 5 y/o chorros de agua 3 y de la tensión de salida de los convertidores de la red de a bordo 22.

El sistema de propulsión de buques 1 se emplea preferentemente en un trimarán. Además, los ejes de propulsión 11, 12, 13 están con los chorros de agua 3 en el casco central del trimarán. Naturalmente, un buque puede presentar también más de tres de estos chorros de agua 3 con el correspondiente número de ejes de propulsión eléctricas.

Un sistema de propulsión de buques 30 mostrado en la FIG 3 se distingue del sistema de propulsión de buques 1 mostrado en la FIG 1, por un lado, porque presenta hélices 34 en vez de chorros de agua como unidades de propulsión y porque el primer eje de propulsión eléctrica 11 presenta un motor diésel 6 en vez de una turbina de gas para impulsar el generador 4. Las hélices 34 tienen que poder operar a velocidades de giro relativamente bajas y potencia relativamente baja. Allí tienen los motores diésel 6 un grado de eficiencia relativamente malo. La red de conducción con las barras colectoras 7 es, por ejemplo, una red de conducción de tensión media con una tensión de 6.6 kV/60Hz y la red de a bordo 20 tiene una tensión de 660V/60Hz.

El sistema de propulsión de buques 30 se distingue del sistema de propulsión de buques 1 mostrado en la FIG 1, por otro lado, en que los ejes segundo y tercero de propulsión 12, 13 pueden conmutarse de un estado operativo normal mostrado en la FIG 3, en que los ejes de propulsión 12, 13 están eléctricamente acoplados en cada caso a través de un transformador 21 y un convertidor de la red de a bordo 22 con en cada caso una subred de a bordo 20 y en que el generador 4 del eje de propulsión 12, 13, sin intermediación del convertidor de la red de a bordo 22, está acoplado eléctricamente con el motor de propulsión 5 del respectivo eje de propulsión 12, 13, a un primer estado operativo especial mostrado en la FIG 4, en que el generador 4 del eje de propulsión 12, 13 está acoplado eléctricamente a través del transformador 21, del convertidor de la red de a bordo 22 y de un transformador 37 con el motor de propulsión 5 del respectivo eje de propulsión 12, 13.

En el estado operativo normal, los generadores 4 son impulsados entonces, como se ha descrito antes, por los motores diésel 6 de tal manera que generen una tensión del motor con amplitud variable y frecuencia variable. Con esta tensión variable, por un lado, se alimenta el respectivo motor de propulsión 5. Por otro lado, esta tensión variable se transforma a través del respectivo transformador 21 y del convertidor de la red de a bordo 22 entonces en la tensión de amplitud y frecuencia constantes de la subred de a bordo 20.

Para requisitos de velocidad en los motores diésel 6 inferiores a su requisito de velocidad mínima, el sistema de propulsión de buques 30 puede conmutarse del estado operativo normal al primer estado operativo especial. Los generadores 4 son impulsados entonces por los motores diésel 6 con su velocidad mínima, de forma que generen una tensión del motor con amplitud y frecuencia constantes. Esta tensión se transforma a través del transformador 21, convertidor de la red de a bordo 22 y transformador 37 respectivamente conectados en una tensión de amplitud y frecuencia variables para la alimentación del respectivo motor de propulsión 5, donde la frecuencia de la tensión transformada es menor que la frecuencia de la tensión generada por el generador 4.

El convertidor de la red de a bordo 22 puede conectarse para esto del lado de la salida a través de un interruptor 31 o bien con la subred de a bordo 20 o a través del transformador 37 y un interruptor 33 con el motor de propulsión 5. El motor de propulsión 5 puede, a su vez, conectarse a través del interruptor 33 o bien (a través del transformador 37 y del interruptor 31) con la salida del convertidor de la red de a bordo 22 o (a través de un interruptor 35) con la barra colectora 7 del respectivo eje de propulsión 12, 13. Del lado de la entrada, el convertidor de la red de a bordo 22 puede conectarse a través de un interruptor 36, el transformador 21 y un interruptor 38 con la barra colectora 7 del respectivo eje de propulsión 12, 13.

En el primer estado operativo especial mostrado en la FIG 2, las subredes de a bordo 20 pueden ser alimentadas con corriente o bien por el respectivo generador del puerto 25 o bien a través de un convertidor adicional de la red de a bordo, no representado a fondo, que se puede conectar, por ejemplo, a través del transformador 21 y del interruptor 38 a la barra colectora 7.

ES 2 790 973 T3

5 Si el transformador 21 estuviera dimensionado suficientemente grande, podría alternativamente conectarse una subred de a bordo 20 también directamente a través del transformador 21 y del interruptor 38 a la barra colectora 7 y, por consiguiente, ser alimentado con corriente directamente por la barra colectora 7 sin convertidor intermedio de la red de a bordo. En este caso, es entonces también posible una operación paralela con el convertidor de la red de a bordo 22, a través del cual el motor de propulsión 5 es alimentado con corriente.

En un segundo estado operativo especial mostrado en la FIG 5, los motores de propulsión 5 son alimentados en cada caso a través de un convertidor de la red de a bordo 22 por una subred de a bordo 20. Para estabilizar las subredes de a bordo 20, éstas están ventajosamente acopladas entre sí a través de los interruptores 23.

10 Los convertidores de la red de a bordo 22 pueden conectarse para esto del lado de la entrada a través del interruptor 36 o bien con la respectiva barra colectora 7 o con la respectiva subred de a bordo 20. Del lado de la salida, el convertidor de la red de a bordo 22 puede conectarse, o bien a través del interruptor 31 con la subred de a bordo 20, o a través del transformador 37 y del interruptor 33 con el motor de propulsión 5.

15 El convertidor de la red de a bordo 22 obtiene del lado de la entrada una tensión de amplitud y frecuencia constantes y la transforma en una tensión de amplitud y frecuencia variables para el suministro del respectivo motor de propulsión 5.

El segundo estado operativo especial puede usarse, por un lado, para alimentar corriente a los motores de propulsión 5 al fallar los generadores 4 mediante los generadores del puerto 25.

20 El segundo estado operativo especial puede emplearse, sin embargo, también alternativamente al primer estado operativo especial, para suministrar corriente a los motores de propulsión a bajas velocidades de giro, que conducen a un requisito de velocidad en los motores diésel 6, que se hallen por debajo de su requisito de velocidad mínima.

25 Si, en este caso, el convertidor de la red de a bordo 22 del lado de la entrada no fuera alimentado por la (sub-)red de a bordo 20, sino por el generador 4 a través de la barra colectora 7, el generador 4 generaría una tensión de amplitud y frecuencia constantes. Por ejemplo, wird el motor diésel 6 que acciona el generador 4 operaría entonces a su velocidad mínima. El convertidor de la red de a bordo 22 transformaría entonces la tensión de amplitud y frecuencia constantes ajustada en su entrada entonces en una tensión de amplitud y frecuencia variables para alimentar al respectivo motor de propulsión 5, donde la frecuencia de la tensión convertida es menor que la frecuencia de la tensión generada por el generador 4.

30 Las subredes de a bordo 20 pueden ser alimentadas con corriente en el segundo estado operativo especial o bien por los generadores del puerto 25 o a través de un convertidor adicional de la red de a bordo no representado a fondo, que está conectado, por ejemplo, a través del transformador 21 y den interruptor 38 a la barra colectora 7.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de propulsión de buques (1) con al menos un primer y un segundo ejes de propulsión eléctrica (11, 12) para accionar en cada caso una unidad de propulsión (2), particularmente un chorro de agua, donde cada uno de los ejes de propulsión eléctrica (11, 12) comprende

5 - al menos un generador (4) de velocidad variable accionado por una máquina de combustión interna (3, 6) para generar una tensión del motor con amplitud variable y frecuencia variable y

- al menos un motor de propulsión (5) de velocidad variable alimentado con esta tensión del motor y acoplado a una unidad de propulsión (2),

10 con un primer estado operativo y un segundo estado operativo, donde en el primer estado operativo el primer y el segundo eje de propulsión (11, 12) se separan eléctricamente entre sí, donde en el segundo estado operativo el primer y el segundo eje de propulsión (11, 12) están eléctricamente acoplados, donde el primer y el segundo eje de propulsión (11, 12) pueden conmutarse del primer estado operativo al segundo estado operativo, donde el primer y el segundo eje de propulsión (11, 12) en el segundo estado operativo están acoplados eléctricamente de tal manera que se lleve a cabo una transferencia de energía del al menos un generador (4) de un eje de propulsión (11, 12) al por lo menos un motor de propulsión (5) del otro eje de propulsión (11, 12), con un tercer eje de propulsión eléctrica (13) para accionar una unidad adicional de propulsión (2), particularmente un chorro de agua, donde el tercer eje de propulsión (13) comprende

- al menos un generador (4) de velocidad variable accionado por una máquina de combustión interna (6) para generar una tensión del motor con amplitud variable y frecuencia variable y

20 - al menos un motor de propulsión (5) de velocidad variable alimentado con esta tensión del motor y acoplado a una unidad de propulsión (2),

25 con otro primer estado operativo y otro segundo estado operativo, donde en el otro primer estado operativo el primer y el tercer ejes de propulsión (11, 13) se separan eléctricamente entre sí, donde en el otro segundo estado operativo el primer y el tercer ejes de propulsión (11, 13) se acoplan eléctricamente, donde el primer y el tercer ejes de propulsión (11, 13) pueden conmutarse del otro primer estado operativo al otro segundo estado operativo, donde en el otro segundo estado operativo el primer y el tercer ejes de propulsión (11, 13) están acoplados eléctricamente de tal manera que se lleve a cabo una transferencia de energía del al menos un generador (4) de un eje de propulsión (11, 13) al por lo menos un motor de propulsión (5) del otro eje de propulsión (11, 13), caracterizado por un primer convertidor de la red de a bordo (22) alimentado con la tensión del motor con amplitud variable y frecuencia variable del segundo eje de propulsión (12), convertidor que transforma esta tensión en una tensión con amplitud constante y frecuencia constante para una primera subred de a bordo (20), y con un segundo convertidor de la red de a bordo (22) alimentado con la tensión del motor con amplitud variable y frecuencia variable del tercer eje de propulsión (13), convertidor que transforma esta tensión en una tensión con amplitud constante y frecuencia constante para una segunda subred de a bordo (20), donde ambas subredes de a bordo (20) se acoplan, donde en los ejes de propulsión (11, 12, 13) en cada caso un generador (4) y un motor de propulsión están conectados eléctricamente entre sí a través de una barra colectora (7).

2. Sistema de propulsión de buques (1) según la reivindicación 1, caracterizado porque el al menos un generador (4) presenta un devanado superconductor, particularmente un devanado superconductor de alta temperatura (HTS).

40 3. Sistema de propulsión de buques (1) según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque el al menos un motor de propulsión (5) presenta un devanado superconductor, particularmente un devanado superconductor de alta temperatura (HTS).

4. Sistema de propulsión de buques (1) según la reivindicación 3, caracterizado porque el devanado superconductor es un devanado del rotor rotatorio.

45 5. Sistema de propulsión de buques (1) según una de las anteriores reivindicaciones, caracterizado porque el acoplamiento de los ejes de propulsión (11, 12 y/o 11, 13) se lleva a cabo a través de una conexión por cables eléctricos (14, 15), que comprende preferentemente un superconductor, particularmente un superconductor de alta temperatura (HTS).

50 6. Sistema de propulsión de buques (1) según una de las reivindicaciones 2 a 5, caracterizado porque los ejes segundo y tercero de propulsión (12, 13) sirven como propulsión principal para un rango inferior de velocidades del buque y el primer eje de propulsión (11), solo o junto con los ejes segundo y tercero de propulsión (12, 13), sirve(n) como propulsión principal para un mayor rango de velocidades hasta la velocidad máxima del buque.

7. Sistema de propulsión de buques (1) según la reivindicación 6, caracterizado porque la máquina de combustión interna del primer eje de propulsión (11) está configurada como una turbina de gas (6) y las máquinas de combustión interna de los ejes segundo y tercero de propulsión (11, 12) están configuradas como motores diésel (6).
- 5 8. Sistema de propulsión de buques (1) según una de las anteriores reivindicaciones, caracterizado por un convertidor de la red de a bordo (22) alimentado con la tensión del motor con amplitud variable y frecuencia variable de uno de los ejes de propulsión (12, 13), convertidor que transforma esta tensión en una tensión con amplitud constante y frecuencia constante para una red de a bordo.
9. Sistema de propulsión de buques (1) según la reivindicación 8, caracterizado por al menos un generador adicional de la red de a bordo (25) para suministrar a la red de a bordo o a una de las subredes de a bordo (20) una tensión de amplitud y frecuencia constantes.
- 10 10. Sistema de propulsión de buques (1) según la reivindicación 8 ó 9, caracterizado porque el al menos un generador (4) del eje de propulsión (11, 12, 13) puede ser accionado por la máquina de combustión interna que lo acciona (3, 6) opcionalmente con una frecuencia fija o con una frecuencia variable.
- 15 11. Sistema de propulsión de buques (1, 30) según una de las reivindicaciones 9 a 10, caracterizado porque el eje de propulsión (12, 13) puede conmutarse de un estado operativo, en que el al menos un generador (4) del eje de propulsión (12, 13), sin intermediación del convertidor de la red de a bordo (22), está acoplado eléctricamente con el al menos un motor de propulsión (5) del eje de propulsión (12, 13) y genera una tensión de amplitud y frecuencia variables, a un estado operativo, en que el al menos un generador (4) del eje de propulsión (12, 13) está acoplado eléctricamente a través del convertidor de la red de a bordo (22) con el al menos un motor de propulsión (5) del eje de propulsión (12, 13), donde el convertidor de la red de a bordo (22) genera una tensión de amplitud y frecuencia variables.
- 20 12. Sistema de propulsión de buques (1, 30) según una de las reivindicaciones 8 a 11, caracterizado porque el eje de propulsión (12, 13) puede conmutarse de un estado operativo, en que el al menos un generador (4) del eje de propulsión (12, 13), sin intermediación del convertidor de la red de a bordo (22), está acoplado eléctricamente con el al menos un motor de propulsión (5) del eje de propulsión (12, 13) y genera una tensión de amplitud y frecuencia variables, a un estado operativo, el que la red de a bordo o subred de a bordo (20) está eléctricamente acoplada a través del convertidor de la red de a bordo (22) con el al menos un motor de propulsión (5) del eje de propulsión (12, 13), donde el convertidor de la red de a bordo (22) genera una tensión de amplitud y frecuencia variables.
- 25 13. Empleo des sistema de propulsión de buques (1) según una de las anteriores reivindicaciones en un buque multicasco, particularmente en un trimarán.
- 30 14. Procedimiento para operar un sistema de propulsión de buques (1) con al menos un primer y un segundo eje de propulsión eléctrica (11, 12) para accionar en cada caso una unidad de propulsión (2), particularmente un chorro de agua, donde cada uno de los ejes de propulsión eléctricas (11, 12) comprende
- 35 - al menos un generador (4) de velocidad variable accionado por una máquina de combustión interna (3, 6) para generar una tensión del motor con amplitud variable y frecuencia variable y
- al menos un motor de propulsión (5) de velocidad variable alimentado con esta tensión del motor y acoplado a una unidad de propulsión (2),
- con un primer estado operativo y un segundo estado operativo, donde para el primer estado operativo se separan el primer y el segundo eje de propulsión (11, 12) eléctricamente entre sí, donde para el segundo estado operativo se conectan eléctricamente el primer y el segundo eje de propulsión (11, 12), donde el primer y el segundo eje de propulsión (11, 12) se conmutan del primer estado operativo al segundo estado operativo, donde el primer y el segundo eje de propulsión (11, 12) en el segundo estado operativo están acoplados eléctricamente de tal manera que se lleve a cabo una transferencia de energía del al menos un generador (4) de un eje de propulsión (11, 12) al por lo menos un motor de propulsión (5) del otro eje de propulsión (11, 12), con un tercer eje de propulsión eléctrica (13) para accionar otra unidad adicional de propulsión (2), particularmente un chorro de agua, donde el tercer eje de propulsión (13) comprende
- 40 - al menos un generador (4) de velocidad variable accionado por una máquina de combustión interna (6) para generar una tensión del motor con amplitud variable y frecuencia variable y
- 45 - al menos un motor de propulsión (5) de velocidad variable alimentado con esta tensión del motor y acoplado a una unidad de propulsión (2),
- 50

- con otro primer estado operativo y otro segundo estado operativo, donde para el otro primer estado operativo se separan el primer y el tercer ejes de propulsión (11, 13) eléctricamente entre sí, donde para el otro segundo estado operativo el primer y el tercer ejes de propulsión (11, 13) se acoplan eléctricamente, donde el primer y el tercer ejes de propulsión (11, 13) pueden conmutarse del otro primer estado operativo al otro segundo estado operativo, donde
- 5 el primer y el tercer ejes de propulsión (11, 13) en el otro segundo estado operativo están acoplados eléctricamente de tal manera que se lleve a cabo una transferencia de energía del al menos un generador (4) de un eje de propulsión (11, 13) al por lo menos un motor de propulsión (5) del otro eje de propulsión (11, 13), caracterizado por un primer convertidor de la red de a bordo (22) alimentado con la tensión del motor con amplitud variable y frecuencia variable del segundo eje de propulsión (12), convertidor que transforma esta tensión en una tensión con
- 10 amplitud constante y frecuencia constante para una primera subred de a bordo (20), y con un segundo convertidor de la red de a bordo (22) alimentado con la tensión del motor con amplitud variable y frecuencia variable del tercer eje de propulsión (13), convertidor que transforma esta tensión en una tensión con amplitud constante y frecuencia constante para una segunda subred de a bordo (20), donde ambas subredes de a bordo (20) se acoplan, donde en los ejes de propulsión (11, 12, 13) en cada caso un generador (4) y un motor de propulsión están conectados
- 15 eléctricamente entre sí a través de una barra colectora (7).
15. Procedimiento según la reivindicación 14, caracterizado porque en al menos un generador (4) se usa un devanado superconductor, particularmente un devanado de superconductor de alta temperatura (HTS).
16. Procedimiento según una de las reivindicaciones 14 a 15, caracterizado porque en al menos un motor de propulsión (5) se utiliza un devanado de superconductor, particularmente un devanado de superconductor de alta
- 20 temperatura (HTS).
17. Procedimiento según la reivindicación 16, caracterizado porque como devanado superconductor se utiliza un devanado del rotor rotatorio.
18. Procedimiento según una de las reivindicaciones 14 a 17, caracterizado porque el acoplamiento de los ejes de propulsión (11, 12 y/o 11, 13) se lleva a cabo a través de una conexión por cables eléctricos (14, 15), que comprende preferentemente un superconductor, particularmente un superconductor de alta temperatura (HTS).
- 25 19. Procedimiento según una de las reivindicaciones 14 a 18, caracterizado porque el segundo y el tercer eje de propulsión (12, 13) sirven como propulsión principal para un inferior rango de velocidades del buque y el primer eje de propulsión (11) solo o junto con el segundo y el tercer eje de propulsión (12, 13) sirve como propulsión principal para un mayor rango de velocidades hasta la velocidad máxima del buque.
- 30 20. Procedimiento según la reivindicación 19, caracterizado porque como máquina de combustión interna del primer eje de propulsión (11) se usa una turbina de gas (6) y como máquinas de combustión interna del segundo y del tercer eje de propulsión (11, 12) se utilizan motores diésel (6).
21. Procedimiento según una de las reivindicaciones 14 a 20, caracterizado por un convertidor de la red de a bordo (22) alimentado por uno de los ejes de propulsión (12, 13) con la tensión del motor con amplitud variable y frecuencia variable, convertidor que transforma esta tensión en una tensión con amplitud constante y frecuencia
- 35 constante para una red de a bordo.
22. Procedimiento según la reivindicación 21, con al menos un generador adicional de la red de a bordo (25), que se utiliza para el suministro a la red de a bordo o a una de las subredes de a bordo (20) de una tensión de amplitud y frecuencia constantes.
- 40 23. Procedimiento según una de las reivindicaciones 21 a 22, caracterizado porque el al menos un generador (4) del eje de propulsión (11, 12, 13) es accionado por la máquina de combustión interna que lo acciona (3, 6) opcionalmente con una frecuencia fija o con una frecuencia variable.
24. Procedimiento según una de las reivindicaciones 21 a 23, caracterizado porque el eje de propulsión (12, 13) se conmuta de un estado operativo, en que el al menos un generador (4) del eje de propulsión (12, 13) está
- 45 eléctricamente acoplado sin intermediación del convertidor de la red de a bordo (22) con el al menos un motor de propulsión (5) del eje de propulsión (12, 13) y genera una tensión de amplitud y frecuencia variables, a un estado operativo, en que el al menos un generador (4) del eje de propulsión (12, 13) está eléctricamente acoplado a través del convertidor de la red de a bordo (22) con el al menos un motor de propulsión (5) del eje de propulsión (12, 13), donde el convertidor de la red de a bordo (22) genera una tensión de amplitud y frecuencia variables.
- 50 25. Procedimiento según una de las reivindicaciones 21 a 24, caracterizado porque el eje de propulsión (12, 13) se conmuta de un estado operativo, en que el al menos un generador (4) del eje de propulsión (12, 13) está acoplado sin intermediación del convertidor de la red de a bordo (22) eléctricamente con el al menos un motor de propulsión (5) del eje de propulsión (12, 13) y genera una tensión de amplitud y frecuencia variables, a un estado operativo, en

que la red de a bordo o red parcial de a bordo (20) está acoplada eléctricamente a través del convertidor de la red de a bordo (22) con el al menos un motor de propulsión (5) del eje de propulsión (12, 13), donde el convertidor de la red de a bordo (22) genera una tensión de amplitud y frecuencia variables.

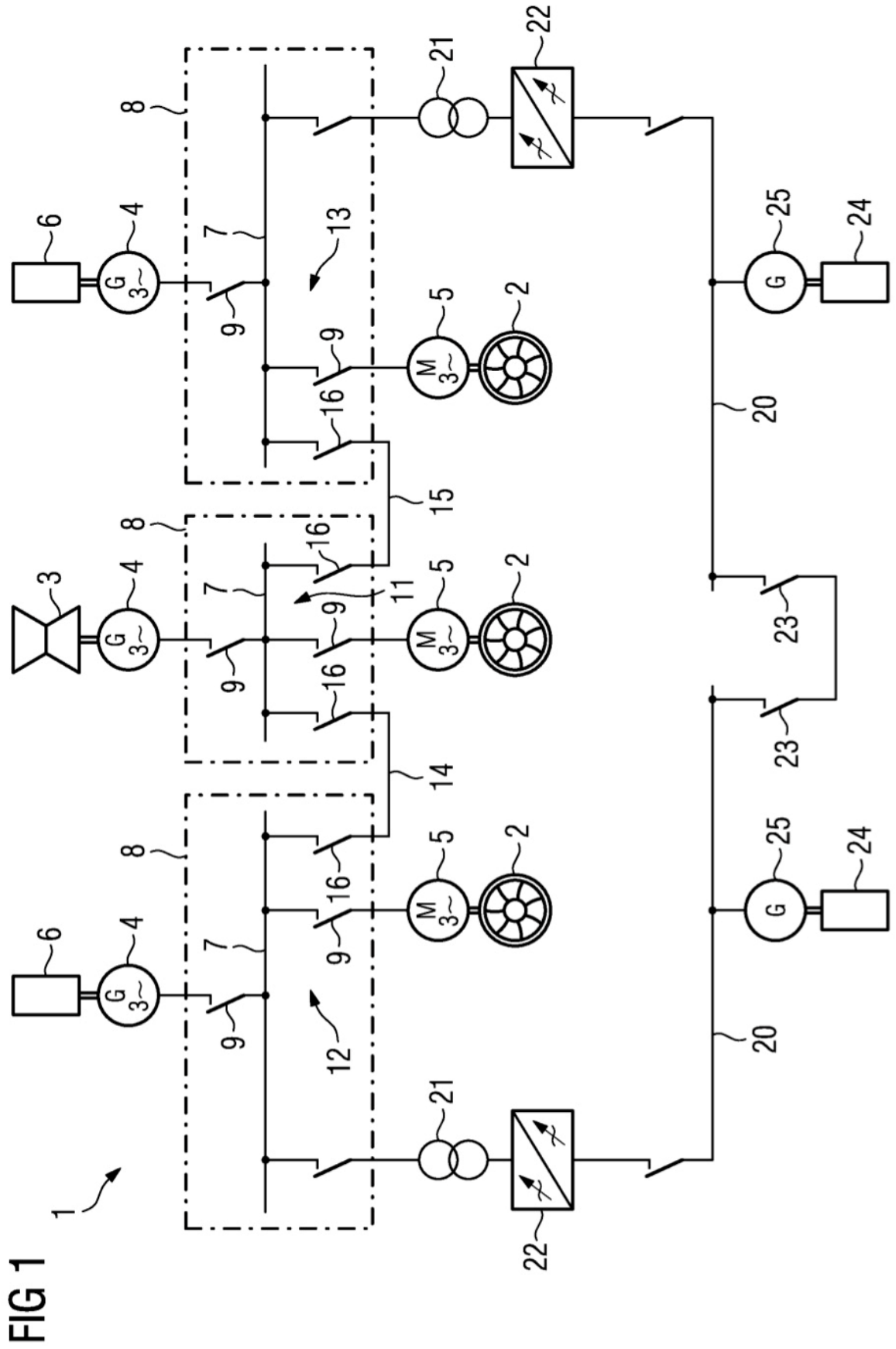
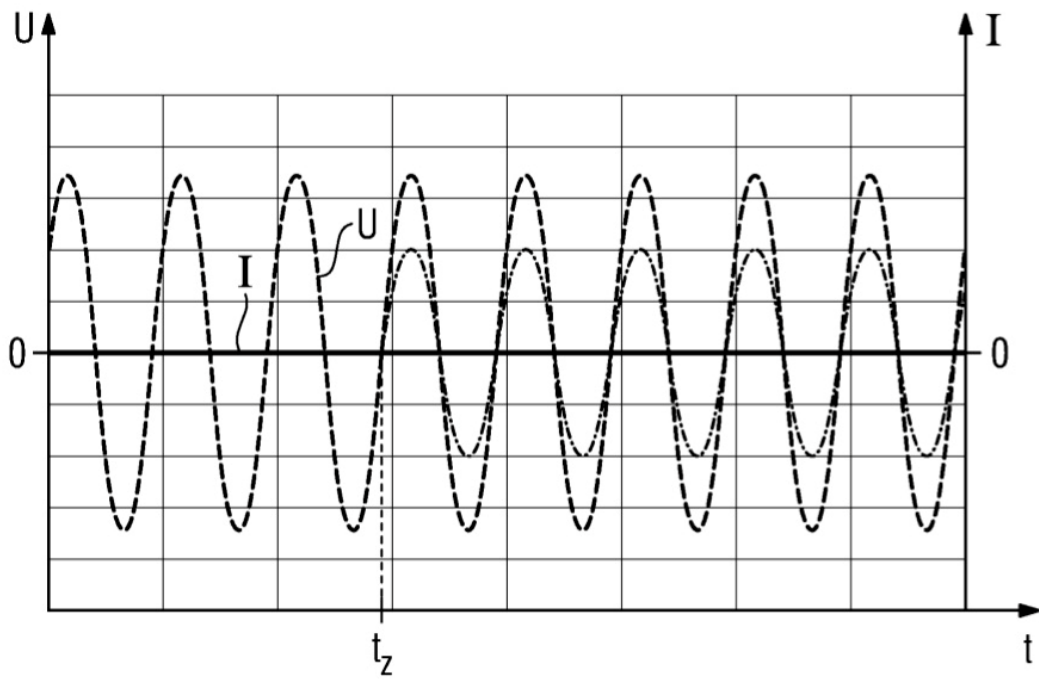


FIG 2



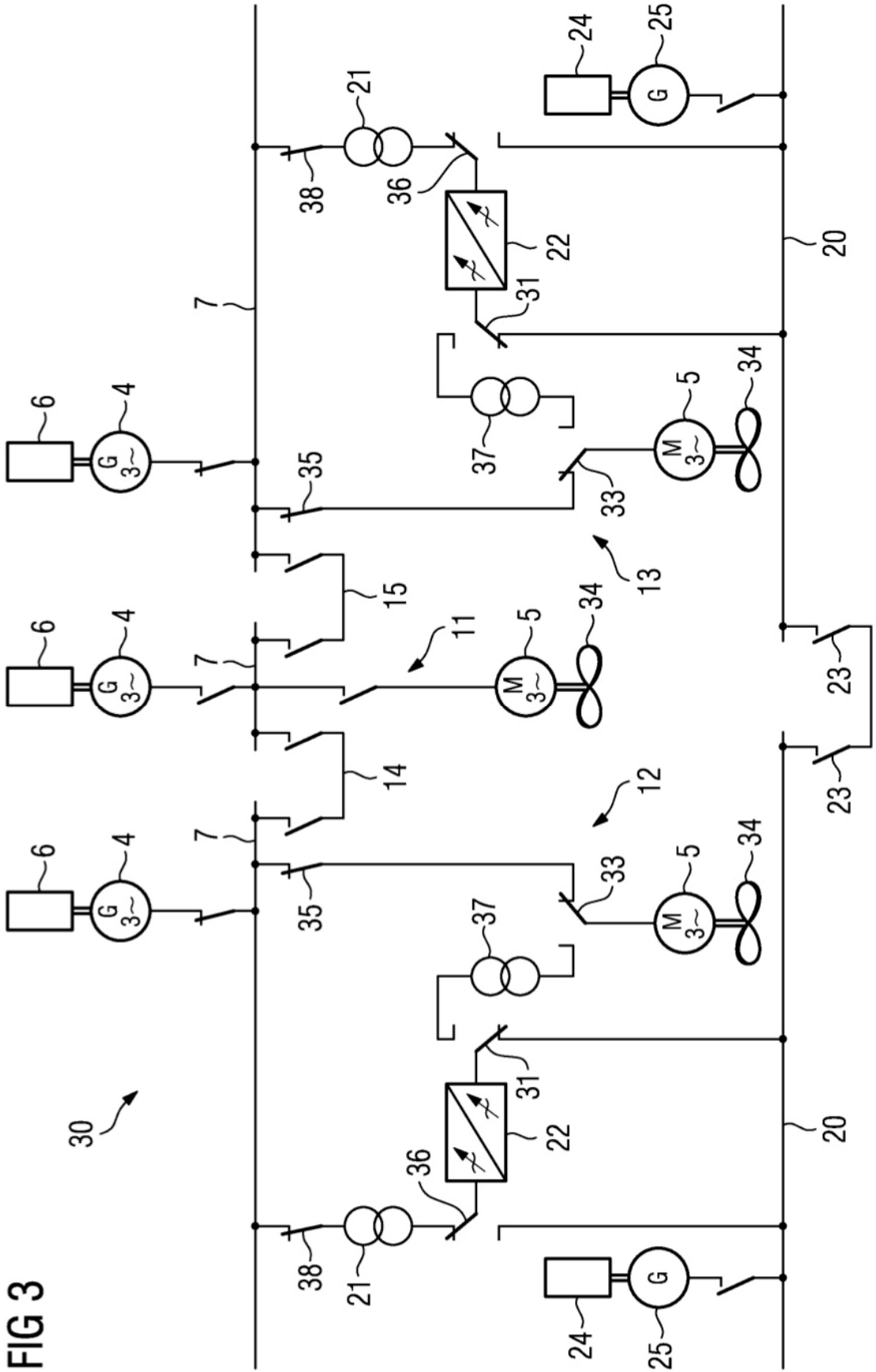


FIG 3

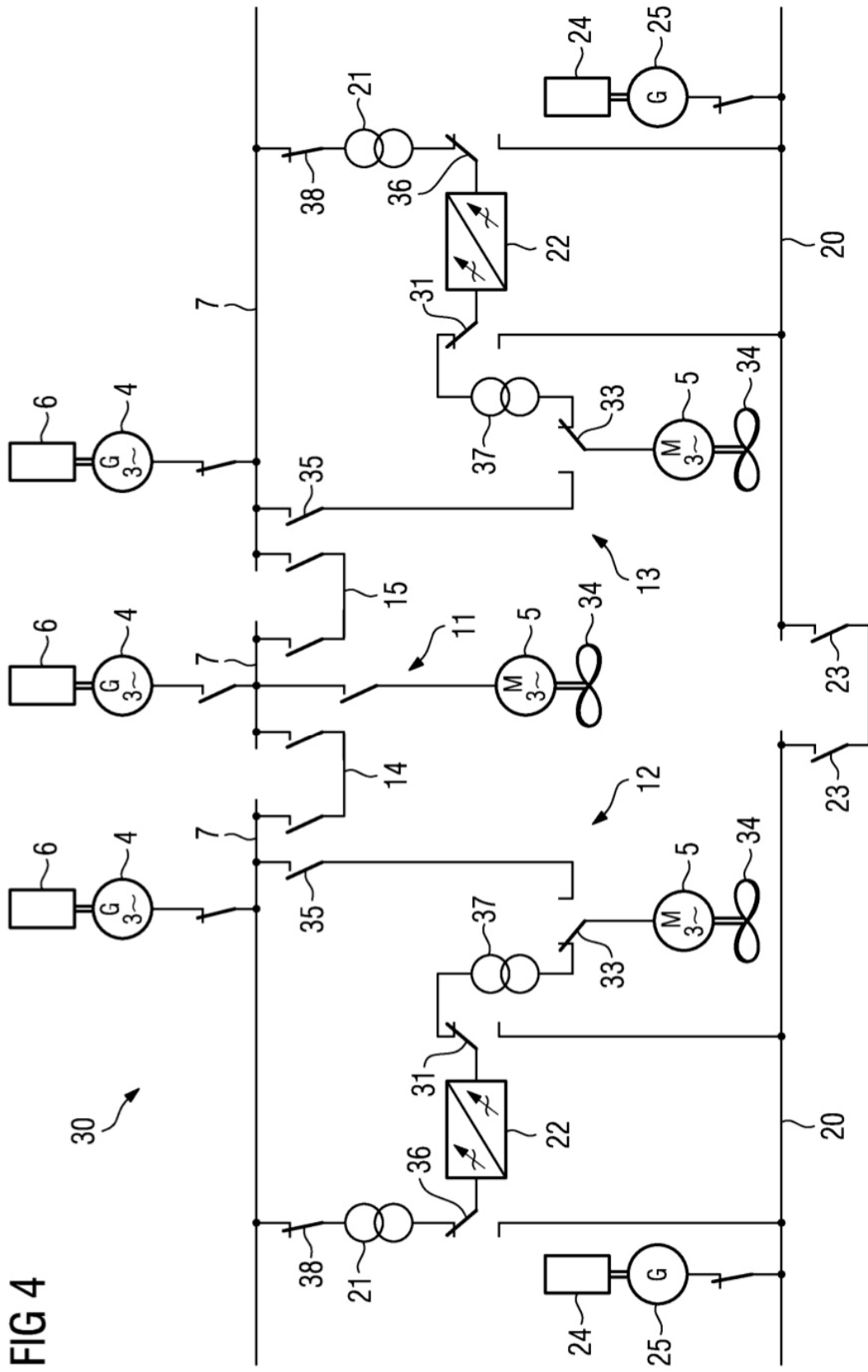


FIG 4

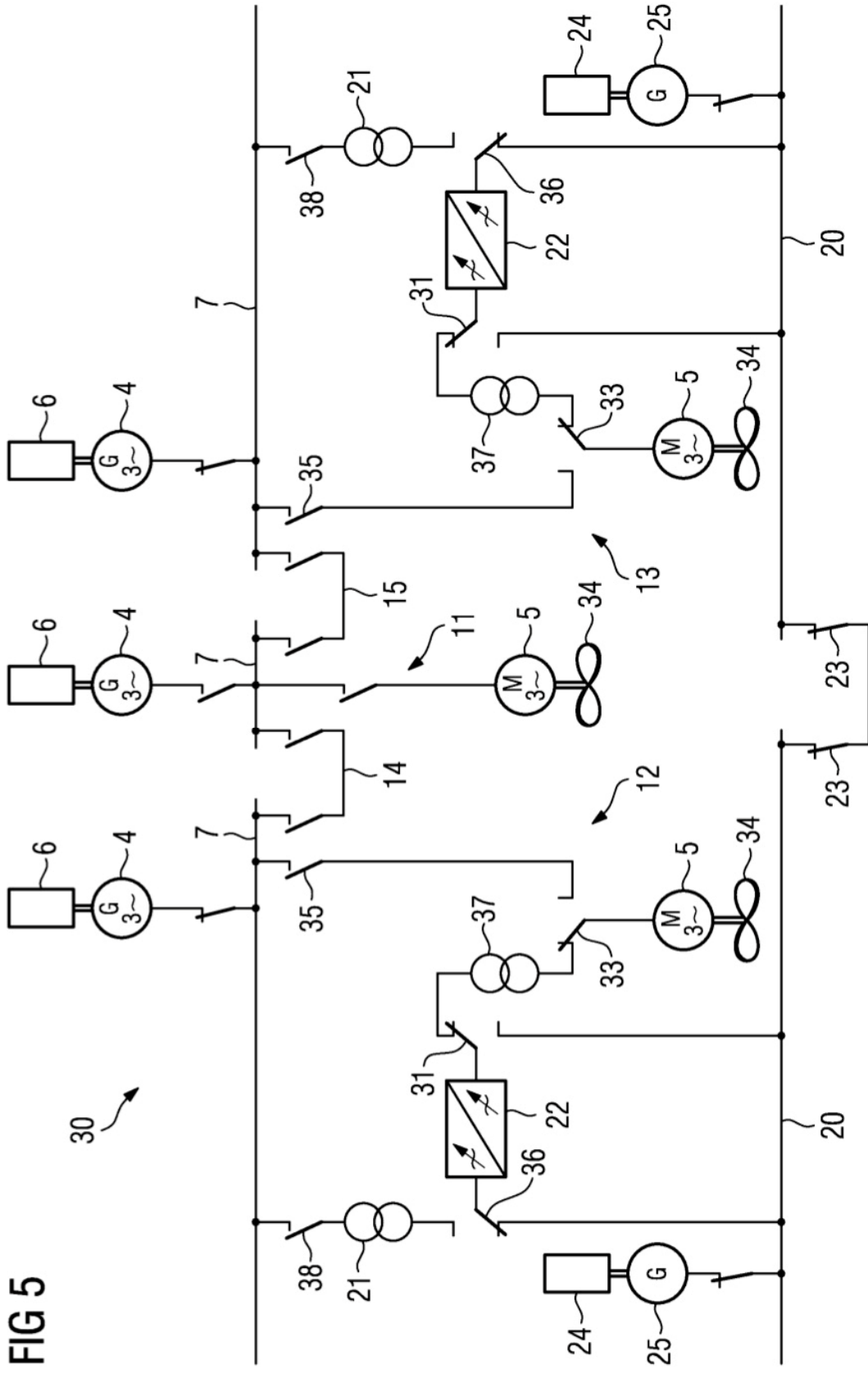


FIG 5