(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 946 175**

(51) Int. CI.:

B60L 3/12	(2006.01)
B60L 50/15	(2009.01)
B60L 50/51	(2009.01)
B60L 58/20	(2009.01)
H02P 5/747	(2006.01)
B60W 10/08	(2006.01)
B60W 20/00	(2006.01)
B60L 15/20	(2006.01)
H02P 5/00	(2006.01)
B60W 10/26	(2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.08.2015 E 15181296 (3)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.03.2023 EP 2987673**

(54) Título: **Sistema de propulsión de vehículos que tiene un sistema de almacenamiento de energía y método optimizado de control del funcionamiento del mismo**

(30) Prioridad:

19.08.2014 US 201414462792

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.07.2023

(73) Titular/es:

GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US

(72) Inventor/es:

ZHOU, JIAN;
ZHOU, ZHI;
KING, ROBERT DEAN;
SUN, FENGCHENG y
LI, ZHIHAO

(74) Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

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 vehículos que tiene un sistema de almacenamiento de energía y método optimizado de control del funcionamiento del mismo

Antecedentes

Los ejemplos de la descripción se relacionan generalmente con sistemas de propulsión eléctrica para vehículos híbridos y eléctricos y, más particularmente, con un sistema de propulsión de vehículos para vehículos híbridos y eléctricos con uno o más dispositivos de almacenamiento de energía y uno o más dispositivos electromecánicos y un método optimizado de control del funcionamiento del sistema de propulsión del vehículo.

Los vehículos puramente eléctricos utilizan energía eléctrica almacenada para alimentar un motor eléctrico, que impulsa el vehículo y también puede propulsar unidades auxiliares. Los vehículos puramente eléctricos pueden utilizar una o más fuentes de energía eléctrica almacenada. Por ejemplo, se puede usar una primera fuente de energía eléctrica almacenada para proporcionar energía de mayor duración, mientras que se puede usar una segunda fuente de energía eléctrica almacenada para proporcionar energía de mayor potencia para, por ejemplo, aceleración, con una o ambas de la primera y segunda fuentes que sean capaces de ser cargadas a través del frenado regenerativo.

Los vehículos eléctricos híbridos pueden combinar un motor de combustión interna y un motor eléctrico alimentado por un dispositivo de almacenamiento de energía, tal como una batería de tracción, para impulsar el vehículo. Tal combinación puede aumentar la eficiencia global del combustible al permitir que el motor de combustión y el motor eléctrico operen cada uno en rangos respectivos de mayor eficiencia. Los motores eléctricos, por ejemplo, pueden ser eficientes en aceleración desde parado, mientras que los motores de combustión pueden ser eficientes durante períodos prolongados de funcionamiento constante del motor, tales como en la conducción en carretera. Tener un motor eléctrico para potenciar la aceleración inicial permite que los motores de combustión en vehículos híbridos sean más pequeños y más eficientes en combustible.

Si bien se han desarrollado configuraciones de sistemas de propulsión para vehículos puramente eléctricos y vehículos eléctricos híbridos para incluir múltiples fuentes de energía eléctrica para aumentar la energía o la densidad de potencia y múltiples fuentes de energía para lograr la salida de propulsión deseada, la incorporación de estas fuentes de energía y almacenamiento de energía en un sistema de propulsión aumenta el tamaño total, el peso y el coste del sistema. Por ejemplo, para asegurar que se mantendrá un nivel mínimo de rendimiento durante la vida útil deseada del vehículo, las baterías a menudo se sobredimensionan para reducir la potencia y las tensiones cíclicas. Además, se implementan controles de gestión térmica demasiado agresivos para ayudar a reducir el estrés térmico en las baterías. Ambos de estos enfoques aumentan el tamaño total del vehículo, aumentan los costes de fabricación y aumentan los costes operativos del sistema de almacenamiento de energía.

Las unidades de almacenamiento de energía tradicionales para vehículos híbridos y eléctricos se diseñan e implementan con poco control sobre la tasa de degradación de las unidades de almacenamiento de energía o las baterías dentro del sistema. El pronóstico de vida útil conocida de la batería se realiza fuera de línea utilizando modelos basados en la física para predecir la tasa de varios mecanismos de degradación individuales. Estos modelos experimentales pueden tener en cuenta el crecimiento de la resistencia de la interfase de electrolito sólido (SEI) y el desvanecimiento de la capacidad, las rutas de reacción química para el crecimiento de SEI, el inicio de la fractura de partículas debido a la carga/descarga de alta velocidad, o el estado electroquímico para un solo ciclo de trabajo de una batería. Sin embargo, hasta la fecha, los modelos conocidos no predicen la propagación de grietas posterior al inicio necesaria para correlacionar el desvanecimiento de la capacidad real con los datos experimentales y carecen de la capacidad predictiva para ciclos de trabajo de batería arbitrarios.

Además, la prueba de vida útil fuera de línea de las tecnologías de la batería típicamente se realiza de una manera acelerada que condensa muchos ciclos en un período de tiempo mucho más corto que el que experimentaría la batería durante el funcionamiento normal. Como tal, los modelos empíricos desarrollados usando pruebas de envejecimiento acelerado pueden no tener en cuenta con precisión las interacciones entre la respuesta relacionada con el calendario y relacionada con el ciclo de la batería en una aplicación del mundo real en tiempo real.

Además del funcionamiento de las unidades de almacenamiento de energía, la eficiencia del sistema de los sistemas eléctricos e híbridos también se ve afectada por el voltaje del enlace de DC del sistema de propulsión. Una técnica conocida para determinar el voltaje del enlace de DC utiliza un modelo completo para calcular un voltaje del bus de DC que minimiza la pérdida del motor y del inversor para una configuración particular del sistema de propulsión del vehículo. El uso de un modelo tan completo requiere mucho tiempo y da como resultado un despliegue de hardware costoso. Además, tal método se basa en la precisión del modelo e inevitablemente no es robusto a los componentes del sistema y modos operativos variables. Otra técnica para determinar el voltaje del enlace de DC utiliza un mapa de eficiencia del sistema del motor para buscar un nivel de voltaje con una pérdida mínima. Como esta técnica se basa en una tabla de consulta directa, el ruido en todas las entradas aparece en el comando de voltaje de salida. Además, la tabla de consulta es estática y no tiene en cuenta la dinámica del sistema. Por tanto, un cambio de carga repentino puede provocar un rendimiento de respuesta insatisfactorio en el par motor

debido a la latencia del comando de voltaje. El modelo integral del mismo modo no responde satisfactoriamente a los cambios repentinos de carga, típicamente añade un margen predeterminado al comando de voltaje para adaptarse a cualquier incertidumbre dinámica. Sin embargo, tal margen predeterminado a menudo produce una respuesta insatisfactoria; dado que un margen demasiado grande sacrifica la eficiencia del sistema, mientras que un margen demasiado pequeño no cumplirá con la respuesta dinámica solicitada.

Como se esbozó anteriormente, las técnicas conocidas para configurar un sistema de propulsión híbrido o eléctrico para operar con múltiples fuentes de almacenamiento de energía y una o más fuentes de energía se basan en modelos determinados experimentalmente y datos estáticos que no tienen en cuenta la dinámica del sistema del mundo real en tiempo real y las condiciones de funcionamiento. En consecuencia, el uso de estas técnicas conocidas reduce la eficiencia operativa y la economía de combustible de los componentes individuales del sistema de propulsión además de reducir la eficiencia general del sistema. El documento US2007/0158118A1 se refiere a un sistema de propulsión de vehículos. El documento US2014/077737A1 se refiere a una estrategia de control de la máquina eléctrica del vehículo. El documento US2014/070741A1 se relaciona con la determinación de la capacidad de par de la máquina eléctrica.

Por lo tanto, sería deseable proporcionar un sistema de propulsión eléctrico y/o eléctrico híbrido que mejore la eficiencia general del sistema y optimice el funcionamiento y la vida útil de las unidades de almacenamiento de energía mientras que se permite que el sistema de propulsión se fabrique a un coste reducido.

Breve descripción

La invención se define en las reivindicaciones adjuntas. Varias otras características y ventajas se harán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada y los dibujos.

Breve descripción de los dibujos

Los dibujos ilustran ejemplos actualmente contemplados para llevar a cabo la descripción.

En los dibujos:

La FIG. 1 es un diagrama esquemático de un sistema de propulsión de vehículos según un ejemplo de la descripción.

La FIG. 2 es un diagrama esquemático de un sistema de propulsión de vehículos según otro ejemplo de la descripción.

La FIG. 3 es un diagrama esquemático de un sistema de propulsión de vehículos según otro ejemplo de la descripción.

La FIG. 4 es un diagrama esquemático de un modelo de simulación para generar una configuración de diseño de un sistema de almacenamiento de energía según un ejemplo de la descripción.

La FIG. 5 ilustra una técnica de control dinámico para dividir una demanda de potencia total de un sistema de propulsión de vehículos entre una pluralidad de unidades de almacenamiento de energía según un ejemplo de la descripción.

La FIG. 6 ilustra una técnica de control dinámico para regular un voltaje de bus de DC en un sistema de propulsión de vehículos según un ejemplo de la descripción.

La FIG. 7 es un mapa de programación de voltaje de ejemplo para usar con la técnica de control dinámico de la FIG. 6.

Descripción detallada

La FIG. 1 es un diagrama esquemático de un sistema de propulsión 10 según un ejemplo de la descripción. Como se describe en detalle a continuación, el sistema de propulsión 10 se puede configurar en una disposición de sistema de propulsión eléctrica pura (EV) que divide la salida de potencia entre uno o más dispositivos electromecánicos o como un sistema de propulsión híbrida (HEV) que incluye un motor de combustión interna además de uno o más dispositivos electromecánicos. En un ejemplo o bien de EV o bien de HEV, los dispositivos electromecánicos se proporcionan en un bus de DC común o en un puerto de salida de canales independientes de un convertidor de DC-DC multicanal, lo que simplifica el bus de DC eléctrico y la estructura de cableado y ahorra costes al mismo tiempo que permite flexibilidad en el dimensionamiento y funcionamiento de los múltiples dispositivos electromecánicos y que aumenta la eficiencia operativa de los dispositivos electromecánicos y el sistema de propulsión general.

Según varios ejemplos, el sistema de propulsión 10 está configurado para ser incorporado en varios tipos de vehículos que incluyen, entre otros, automóviles, autobuses, camiones, tractores, vehículos comerciales e industriales tales como equipos de minería y construcción, embarcaciones marinas, aeronaves y vehículos

todoterreno, incluyendo vehículos de transporte de materiales o los vehículos de transporte de personas, capaces de funcionar tanto en la superficie como bajo tierra, tal como en operaciones de minería, u otro tipo de aparato eléctrico, tal como, por ejemplo, una grúa, un ascensor o un montacargas, como ejemplos no limitantes.

El sistema de propulsión 10 incluye un sistema de almacenamiento de energía 12 que tiene una primera unidad de almacenamiento de energía 14 y una segunda unidad de almacenamiento de energía 16. Cada unidad de almacenamiento de energía 14, 16 tiene un terminal positivo 18, 20 y un terminal negativo 22, 24. El terminal positivo 18 de la primera unidad de almacenamiento de energía 14 está acoplado a un primer convertidor de DC-DC bidireccional 26 y el terminal positivo 20 de la segunda unidad de almacenamiento de energía 16 está acoplado a un segundo convertidor de DC-DC bidireccional 28. Cada una de la primera y segunda unidades de almacenamiento de energía 14, 16 tienen un sistema de gestión de almacenamiento de energía separado o integrado (no mostrado), que se puede configurar como un sistema de gestión de batería (BMS) en un ejemplo la unidad de almacenamiento de energía respectiva es una batería. Según otro ejemplo, los convertidores de DC-DC bidireccionales 26, 28 son convertidores de voltaje de DC-DC bidireccionales o convertidores de voltaje reductor/elevador bidireccionales.

Se proporciona un sistema de sensores 30 dentro del sistema de propulsión 10 para monitorizar y calcular el estado de carga (SOC) de la primera y segunda unidades de almacenamiento de energía 14, 16. Según un ejemplo, el sistema de sensores 30 incluye sensores de voltaje y/o sensores de corriente configurados para medir el voltaje y/o la corriente de la primera y segunda unidades de almacenamiento de energía 14, 16 en varios momentos durante el funcionamiento de las mismas.

Según varios ejemplos, la primera y segunda unidades de almacenamiento de energía 14, 16 incluyen cada una uno o más dispositivos de almacenamiento de energía tales como una batería, un volante de inercia, una celda de combustible, un ultracondensador o una combinación de ultracondensadores, celdas de combustible y/o baterías, como ejemplos. En un ejemplo, la primera unidad de almacenamiento de energía 14 es un dispositivo de almacenamiento de energía de alta potencia específica y la segunda unidad de almacenamiento de energía 16 es un dispositivo de almacenamiento de alta energía específica. Por ejemplo, la primera unidad de almacenamiento de energía 14 puede ser un ultracondensador que tiene múltiples celdas de condensador acopladas entre sí, donde las celdas de condensador pueden tener, cada una, una capacitancia que es mayor que aproximadamente 500 faradios. Alternativamente, la primera unidad de almacenamiento de energía 14 puede ser una batería de alta potencia que tenga una potencia específica de aproximadamente 350 W/kg o más o una combinación de uno o más ultracondensadores y baterías. En tal ejemplo, la segunda unidad de almacenamiento de energía 16 tiene una potencia específica relativamente baja en comparación con la primera unidad de almacenamiento de energía 14. Tal como se usa en la presente memoria, la potencia específica baja describe un dispositivo de almacenamiento de energía que ha demostrado alcanzar una potencia específica del orden de aproximadamente 200 W/kg o inferior. Según varios ejemplos, la segunda unidad de almacenamiento de energía 16 puede ser, por ejemplo, una batería de alta energía específica o una batería de alta densidad de energía. El término batería de energía utilizado en la presente memoria describe una batería de alta energía específica que ha demostrado alcanzar una energía específica del orden de 100 W-h/kg o más (por ejemplo, una batería de iones de litio, haluro metálico de sodio, cloruro de níquel y sodio, sulfuro de sodio, Litio-Aire o zinc-aire).

En un ejemplo, la segunda unidad de almacenamiento de energía 16 tiene una resistividad e impedancia relativamente altas en comparación con la primera unidad de almacenamiento de energía 14. En otro ejemplo, la potencia específica relativamente baja de la segunda unidad de almacenamiento de energía 16 se puede deber a un desequilibrio de las celdas de batería individuales que comprenden el sistema de almacenamiento de energía. En un ejemplo, la segunda unidad de almacenamiento de energía 16 es una batería de iones de litio de bajo coste. Alternativamente, la segunda unidad de almacenamiento de energía 16 puede ser una batería de haluro metálico de sodio, una batería de sulfuro de sodio, una batería de hidruro metálico de níquel, una batería de zinc-aire, una batería de ácido de plomo y similares.

El sistema de propulsión 10 también incluye un primer convertidor de DC-DC bidireccional 26 y un segundo convertidor de DC-DC bidireccional 28 que se acoplan a través del enlace de DC positivo 32 y el enlace de DC negativo 34 de un bus de DC 36. Un sensor de voltaje 38 está acoplado a través del bus de DC 36 para monitorizar un voltaje de bus de DC. En otro ejemplo, el sensor 38 está integrado en uno de los convertidores de DC-DC.

Según un ejemplo, cualquiera o ambas de la primera y segunda unidades de almacenamiento de energía 14, 16, se pueden dimensionar de manera que se puedan omitir los respectivos convertidores de DC-DC bidireccionales 26, 28, lo que da como resultado un sistema de propulsión 10 que incluye menos partes y menos peso que un sistema que incluye un convertidor de voltaje de DC-DC respectivo para cada sistema de almacenamiento de energía. En tal ejemplo, se puede proporcionar un contactor (no mostrado) para acoplar selectivamente la respectiva unidad de almacenamiento de energía al bus de DC.

Tanto el primer convertidor de DC-DC bidireccional 26 como el segundo convertidor de DC-DC bidireccional 28, cuando se usan, están configurados para convertir un voltaje de DC en otro voltaje de DC ya sea reduciendo o elevando el voltaje de DC. Según un ejemplo, cada convertidor de DC-DC bidireccional 26, 28 incluye un inductor acoplado a un par de conmutadores electrónicos y acoplado a un par de diodos. Cada conmutador está acoplado a un diodo respectivo, y cada par conmutador/diodo forma un módulo de media fase respectivo. Los conmutadores

pueden ser, por ejemplo, transistores bipolares de puerta aislada (IGBT), transistores de efecto de campo semiconductor de óxido metálico (MOSFET), MOSFET de carburo de silicio (SiC), dispositivos de nitruro de galio (GaN), transistores de unión bipolar (BIT) y tiristores controlados por semiconductores de óxido metálico (MCT).

La primera y segunda unidades de almacenamiento de energía 14, 16 están acopladas a través del bus de DC 36 a una primera carga 40 y una segunda carga 42 opcional (mostrada en línea de trazos). En un ejemplo, la primera y segunda cargas 40, 42 son propulsores eléctricos. La primera carga 40 incluye un primer inversor de voltaje de DC a AC 44 y un primer motor o primer dispositivo electromecánico 46. La segunda carga 42 incluye un segundo inversor de voltaje de DC a AC 48 y un segundo motor o segundo dispositivo electromecánico 50. En un ejemplo, cada inversor 44, 48 incluye seis módulos de media fase que se emparejan para formar tres fases, con cada fase acoplada entre los enlaces de DC positivo y negativo 32, 34 del bus de DC 36.

Cada dispositivo electromecánico 46, 50 incluye una pluralidad de devanados acoplados a las respectivas fases de su respectivo inversor de voltaje de DC a AC 44, 48. En un ejemplo, el dispositivo electromecánico 46 es un motor de tracción y el dispositivo electromecánico 50 es o bien un alternador o bien un motor de tracción. En otro ejemplo, los dispositivos electromecánicos 46, 50 son motores de AC. Los conjuntos de sensores, generalmente indicados como números de referencia 52 y 54 en la FIG. 1, incluyen varios sensores de corriente y/o voltaje para monitorizar el par y la velocidad de los respectivos dispositivos electromecánicos 46, 50.

Aunque el sistema de propulsión 10 se describe en la presente memoria como que incluye inversores trifásicos 44, 48 y dispositivos electromecánicos trifásicos 46, 50, se contempla que el sistema de propulsión 10 pueda utilizar cualquier número de fases en ejemplos alternativos.

El sistema de propulsión 10 también incluye una transmisión 56 acoplada a las salidas del primer y segundo dispositivos electromecánicos 46, 50. La transmisión 56 está construida como un conjunto de engranajes, un conjunto de correas o una combinación de los mismos según varios ejemplos. Según un ejemplo, la transmisión 56 está configurada como una transmisión eléctricamente variable (EVT) que acopla las salidas de los dispositivos electromecánicos 46, 50 a través de una disposición de engranajes planetarios internos y embragues (no mostrados). En funcionamiento, los dispositivos electromecánicos 46, 50 pueden funcionar en una amplia gama de comandos bidireccionales de velocidad, par y potencia para minimizar la pérdida de potencia y mantener un alto grado de eficiencia general del sistema mientras el sistema de propulsión 10 está funcionando o bien en modo de agotamiento de carga (CD) o bien en modo de operación de mantenimiento de carga (CS).

La salida de la transmisión 56 está acoplada a una o más ruedas de propulsión 58 o ejes de un vehículo a través de un conjunto de engranajes 60, que puede incluir un diferencial. Dependiendo de cómo estén configurados los embragues de la transmisión 56, el primer o segundo dispositivo electromecánico 46, 50 se puede acoplar al conjunto de engranajes 60 a través de la transmisión 56 o se puede acoplar directamente al conjunto de engranajes 60 de manera que la salida del primer o segundo dispositivo electromecánico 46, 50 pase por alto la transmisión 56.

Según un ejemplo, el sistema de propulsión 10 está configurado como un sistema de propulsión de vehículos eléctricos (EV) puros. Alternativamente, el sistema de propulsión 10 está configurado en un sistema de propulsión de vehículos eléctricos híbridos (HEV) y también incluye un motor de combustión interna (ICE) 62 (mostrado en líneas de trazos) acoplado a la transmisión 56. Según varios ejemplos, el motor de combustión interna 62 puede ser un motor de gasolina de combustión interna, un motor diesel de combustión interna, un motor de combustión interna alimentado por gas natural, un motor de combustión externa o un motor de turbina de gas, como ejemplos no limitativos.

El sistema de propulsión 10 también incluye un controlador 64 acoplado operativamente al primer y segundo convertidores de DC-DC bidireccional 26, 28 mediante líneas de control 66. A través del control apropiado de los conmutadores del primer convertidor de DC-DC bidireccional 26, el controlador 64 se configura para potenciar el voltaje de la primera unidad de almacenamiento de energía 14 a un voltaje más alto y para suministrar el voltaje más alto al bus de DC 36. Del mismo modo, el controlador 64 está configurado para controlar la conmutación del segundo convertidor de voltaje de DC-DC bidireccional 28 para potenciar el voltaje de la unidad de almacenamiento de energía 16 a un voltaje más alto y para suministrar el voltaje más alto al bus de DC 36 durante un modo de funcionamiento motorizado. El controlador 64 también está configurado para controlar la conmutación del primer y segundo convertidor de DC-DC bidireccional 26, 28 para reducir un voltaje del bus de DC 36 y para suministrar el voltaje reducido a la primera o segunda unidad de almacenamiento de energía 14, 16 respectiva durante un modo de funcionamiento de carga o regenerativo. En un ejemplo, las líneas de control 66 incluyen un enlace de datos de comunicación real o virtual que transmite los comandos de voltaje al respectivo convertidor de DC-DC bidireccional 26, 28.

El controlador 64 también está acoplado al primer inversor de voltaje de DC a AC 44 y al segundo inversor de voltaje de DC a AC 48 a través de las líneas de control 68. En un modo motorizado, el controlador 64 está configurado para controlar los módulos de media fase del primer y segundo inversores de voltaje de DCC a AC 44, 48 para convertir el voltaje o corriente de DC en el bus de DC 36 en un voltaje o corriente de AC para suministrar a los dispositivos electromecánicos 46, 50. Cuando se acelera en el modo de motorización, el sistema de propulsión 10 aumenta la velocidad de rotación de uno o ambos dispositivos electromecánicos 46, 50 desde cero o desde su velocidad actual

o en tiempo real hasta una velocidad mayor. En un modo regenerativo, el controlador 64 está configurado para controlar el primer y segundo inversores de voltaje de DC a AC 44, 48 para invertir un voltaje o corriente de AC recibido de su dispositivo electromecánico 46, 50 en un voltaje o corriente de DC para suministrar al bus de DC 36.

Durante el funcionamiento, el controlador 64 también recibe realimentación del sensor de voltaje 38 a través de las líneas de control 70 y del sistema de sensores de la unidad de almacenamiento de energía 30 a través de las líneas de control 72. Como reconocerá un experto en la técnica, se pueden proporcionar sensores de voltaje y/o de corriente adicionales en todo el sistema de propulsión 10 para permitir que el controlador 64 monitorice otras condiciones operativas. Además, un experto en la técnica reconocerá que el controlador 64 puede recibir realimentación y/o transmitir comandos de control a otros componentes dentro del sistema de propulsión 10, tal como, por ejemplo, el motor de combustión interna 62.

Si bien el sistema de almacenamiento de energía 12 del sistema de propulsión 10 se describe en la presente memoria como que incluye dos unidades de almacenamiento de energía, se contempla que los ejemplos alternativos pueden incluir una sola unidad de almacenamiento de energía acoplada a un solo conjunto convertidor de voltaje de DC-DC o tres o más unidades de almacenamiento de energía o bien acopladas directamente al bus de DC 36 o bien acopladas al bus de DC 36 a través de uno del primer y segundo convertidores bidireccionales de DC-DC 26, 28 o un convertidor de DC-DC adicional. Además, los ejemplos alternativos pueden incluir un solo par de dispositivo electromecánico/inversor de voltaje de DC a AC acoplado al bus de DC 36 o tres o más dispositivos electromecánicos acoplados al bus de DC 36 a través de inversores de voltaje de DC a AC respectivos.

Según un ejemplo, el sistema de propulsión 10 incluye una base de datos 74 configurada para almacenar información relacionada con el sistema de propulsión 10. Tal información puede incluir, como ejemplos, modelos de degradación para las unidades de almacenamiento de energía 14, 16, mapas de programación de voltaje predefinidos para los dispositivos electromecánicos 46, 50, y períodos de aceleración y desaceleración históricos o conocidos del vehículo a lo largo de una ruta conocida o según las tendencias de aceleración/desaceleración del vehículo o un ciclo de trabajo predefinido. Se puede proporcionar un sensor de posición de vehículo 76 opcional (mostrada en línea de trazos) para determinar una posición del vehículo a lo largo de una ruta en base a identificadores de posición, como marcadores de millas, hora del día o información de ubicación del sistema de posicionamiento global (GPS), por ejemplo, con la información de posición del vehículo que está relacionada con eventos de aceleración y desaceleración almacenados en la base de datos 74. Cada evento de aceleración y desaceleración en la base de datos 74 también puede contener información con respecto a la duración de tiempo de un evento de aceleración o desaceleración.

Haciendo referencia ahora a la FIG. 2, se ilustra un sistema de propulsión 78 según un ejemplo alternativo. Similar al sistema de propulsión 10, el sistema de propulsión 78 incluye un primer y segundo dispositivos electromecánicos 46, 50 acoplados a los respectivos primer y segundo inversores de voltaje de DC a AC 44, 48. Se hace referencia en la presente memoria a otros elementos y componentes comunes al sistema de propulsión 10 y al sistema de propulsión 78 con numeración de referencias similar según sea apropiado.

Como se muestra en la FIG. 2, el primer inversor de voltaje de DC a AC 44 está acoplado a la primera unidad de almacenamiento de energía 14 a través de un primer bus de DC 80 que tiene un enlace de DC positivo 82 y un enlace de DC negativo 84. Asimismo, el segundo inversor de voltaje de DC a AC 48 está acoplado a la segunda unidad de almacenamiento de energía 16 a través del enlace de DC positivo 86 y el enlace de DC negativo 88 de un segundo bus de DC 90. Opcionalmente, el primer y el segundo convertidores de DC-DC bidireccionales 26, 28 (mostrados en línea de trazos) se pueden acoplar entre las unidades de almacenamiento de energía 14, 16 y los inversores de voltaje de DC a AC 44, 48 y operar a través del controlador 64 para potenciar selectivamente el voltaje de las respectivas unidades de almacenamiento de energía 12, 16 al voltaje de bus del correspondiente primer o segundo bus de DC 80, 90 durante un modo de motorización y reducir el voltaje del primer o segundo bus de DC 80, 90 a un voltaje de la unidad de almacenamiento de energía 12, 16 respectiva durante un modo regenerativo o de recarga.

En los ejemplos en los que o bien uno o bien ambos convertidores de DC-DC 26, 28 se omiten del sistema de propulsión 78, la arquitectura general del sistema se simplifica y el peso y el volumen del sistema de propulsión 78 se reducen. Sin embargo, la omisión de estos componentes de la topología del sistema puede dar como resultado una menor eficiencia y una menor flexibilidad de los controles y la optimización como resultado de la pérdida de control del voltaje del primer y segundo buses de DC 80, 90.

Debido a que el sistema de propulsión 78 está configurado con dos buses de DC 80, 90 independientes, el voltaje del enlace de DC de cada bus 80, 90 se puede seleccionar y controlar de manera independiente. Además, los voltajes de enlace de DC independientes proporcionan una mayor flexibilidad en la selección y dimensionamiento de las unidades de almacenamiento de energía 14, 16 y los dispositivos electromecánicos 46, 50 para una máxima eficiencia del sistema.

La FIG. 3 es un diagrama esquemático de un sistema de propulsión 92 según otro ejemplo de la descripción. Se hace referencia a los elementos y componentes comunes a los sistemas de propulsión 10, 78 y 92 en relación con los mismos números de referencia según sea apropiado. El sistema de propulsión 92 difiere de los sistemas de

propulsión 10, 78 en que el primer y segundo conjuntos de electrónica de potencia 94, 96 integrados reemplazan los conjuntos de convertidores de voltaje de DC-DC y los inversores de DC-AC de los sistemas de propulsión 10 y 78 (FIGS. 1 y 2). Cada conjunto de electrónica de potencia 94, 96 integrado de la FIG. 3 incluye un convertidor de voltaje de DC-DC y un inversor de DC-AC combinados dentro de un paquete de hardware común. Tal ejemplo proporciona una gestión térmica más eficaz de la electrónica de potencia y un diseño más compacto. Sin embargo, los costes de reparación para el sistema de propulsión 92 pueden ser más altos que los de los sistemas de propulsión 10, 78 porque el convertidor de voltaje y la electrónica del inversor están empaquetados en la misma carcasa, puede que sea necesario reemplazar todo el conjunto de paquete cuando falla un componente.

La configuración de diseño del sistema de almacenamiento de energía 12 de las FIGS. 1, 2 y 3 se determina usando un módulo de simulación del sistema de almacenamiento de energía 98 ilustrado esquemáticamente en la FIG. 4. Como se describe en detalle a continuación, el módulo de simulación 98 funciona fuera de línea y utiliza una colección de modelos de unidades de almacenamiento de energía, datos operativos y datos económicos para definir una configuración para un sistema de almacenamiento de energía que es capaz de proporcionar las características de rendimiento deseadas para el funcionamiento del sistema de propulsión y que también minimiza el coste y el tamaño de las unidades de almacenamiento de energía individuales dentro del sistema de almacenamiento de energía.

El módulo de simulación 98 recibe como entrada datos de uso operativo 100 que incluyen datos para una amplia gama de posibles patrones de uso para las unidades de almacenamiento de energía individuales que se pueden incluir dentro del sistema de almacenamiento de energía 12. Tales datos de uso operativo 100 pueden incluir, por ejemplo, una selección de ciclos de conducción o trabajo predeterminados o estándar, tales como un ciclo de conducción en ciudad y un ciclo de conducción en carretera, que incluyen detalles sobre cómo varía la demanda de potencia durante el ciclo de conducción ejemplar. El módulo de simulación 98 también recibe datos de escenarios económicos 102 que incluyen parámetros que dan cuenta de las variaciones en los costes de capital iniciales de varios tipos de unidades de almacenamiento de energía y costes de funcionamiento de vehículos que incluyen, por ejemplo, costes de funcionamiento para vehículos que incorporan diferentes tipos de unidades de almacenamiento de energía y/ o costes para recargar diferentes tipos de unidades de almacenamiento de energía.

Dentro del módulo de simulación del sistema de almacenamiento de energía 98 se proporcionan modelos basados en física 104, tales como, por ejemplo, modelos electroquímicos, para varios tipos de unidades de almacenamiento de energía que se pueden incluir dentro del sistema de almacenamiento de energía 12. El módulo de simulación 98 también incluye modelos de degradación 106 de varios tipos de unidades de almacenamiento de energía.

Se aplica un algoritmo de optimización 108 al módulo de simulación 98 para determinar una configuración optimizada para el sistema de almacenamiento de energía 12, teniendo en cuenta los modelos basados en física 104 y los modelos de degradación 106 de las diversas opciones para las unidades de almacenamiento de energía, los datos de uso de funcionamiento 100, y datos de escenario económico 102 para el sistema de propulsión.

La salida 110 resultante del módulo de simulación 98 es un diseño para el sistema de almacenamiento de energía 12 que incluye una selección del tipo de unidades de almacenamiento de energía dentro del sistema de almacenamiento de energía 12, tales como baterías de potencia y/o baterías de energía, por ejemplo, y un dimensionamiento optimizado de esas unidades de almacenamiento de energía, que puede incluir la potencia de cada unidad de almacenamiento de energía definida en kilovatios, así como la energía de cada unidad de almacenamiento de energía definida en kilovatios-hora. Como ejemplo no limitativo, la salida 110 del módulo de simulación 98 puede definir un sistema de almacenamiento de energía 12 como que incluye una batería de potencia de 10 kW, 20 kW-hr y una batería de energía de 10 kW, 50 kW-hr.

La salida del diseño del sistema de almacenamiento de energía por el módulo de simulación 98 puede ser adecuada para la mayoría, si no todos, los escenarios económicos y de uso operativo del sistema de propulsión. Por ejemplo, se podría afirmar que un diseño en particular logra 10 años de vida para el 85% de los clientes, mientras que otra opción de diseño puede lograr nueve años de vida para el 95% de los clientes.

Además de proporcionar una configuración de diseño optimizada para el sistema de almacenamiento de energía 12 a través del uso fuera de línea del módulo de simulación 98, los ejemplos de la descripción también proporcionan optimización en línea del sistema de almacenamiento de energía 12 a través de la operación de una técnica de control de división de potencia dinámica 112 ilustrada en la FIG. 5, durante la cual el controlador 64 extrae energía selectivamente de las unidades de almacenamiento de energía 14, 16 según una estrategia de control diseñada para optimizar la división de potencia entre las unidades de almacenamiento de energía 14, 16 mientras que se maximiza la eficiencia operativa general del sistema de propulsión 10. La técnica de control de división de potencia 112 funciona en tiempo real y efectúa una división de la demanda de energía total para el sistema de propulsión 10 entre las unidades de almacenamiento de energía 14, 16 mientras que se considera una amplia gama de posibles patrones de uso para las unidades de almacenamiento de energía, modelos de degradación para las unidades de almacenamiento de energía, conocimiento de posibles demandas futuras y un algoritmo de despacho de energía. Aunque la técnica de control dinámico 112 se describe a continuación con referencia al sistema de propulsión 10 de la FIG. 1, se apreciará que la técnica 112 puede ser extendida fácilmente a sistemas de propulsión que tengan

configuraciones alternativas, tales como, por ejemplo, el sistema de propulsión 78 (FIG. 2) y el sistema de propulsión 92 (FIG. 3).

La técnica de control de división de potencia dinámica 112 comienza en el paso 114 accediendo a una división de potencia inicial para las unidades de almacenamiento de energía 14, 16, que define cómo se ha de dividir la demanda de potencia total del sistema de propulsión 10 entre las unidades de almacenamiento de energía 14, 16 para un período de funcionamiento dado. En el arranque del vehículo, la división de potencia inicial se puede definir como un valor por defecto determinado a partir de un ciclo de trabajo o conducción preestablecido para el sistema de propulsión 10. En funcionamiento, la división de potencia inicial se puede definir como la división de potencia más reciente aplicada a las unidades de almacenamiento de energía. 14, 16.

En el paso 116, se monitorizan los parámetros operativos de la primera y segunda unidades de almacenamiento de energía 14, 16. En un ejemplo, los parámetros operativos incluyen un valor en tiempo real del estado de carga (SOC) de las unidades de almacenamiento de energía 14, 16 y un valor en tiempo real del estado de salud (SOH) de las unidades de almacenamiento de energía. 14, 16. Estos valores de SOC y SOH en tiempo real 116 se pueden determinar a partir de la información recibida del sistema sensor de la unidad de almacenamiento de energía 30. El SOC indica una cantidad o nivel de energía eléctrica almacenada en las unidades de almacenamiento de energía 14, 16 y se puede determinar por el controlador 64 usando mediciones de voltaje y/o corriente proporcionadas al controlador 64 desde el sistema sensor 30. El SOH de las unidades de almacenamiento de energía 14, 16 se refiere a la capacidad de las unidades de almacenamiento de energía 14, 16 para cumplir con el rendimiento nominal durante la descarga (por ejemplo, alimentando una carga) o durante la carga. El SOH se puede determinar a partir de una variedad de parámetros. Por ejemplo, cuando las unidades de almacenamiento de energía 14, 16 incluyen una o más baterías, el SOH se puede basar en el voltaje de los terminales de la batería en función de la corriente, una estimación de la resistencia interna de la batería, la temperatura de la batería, el voltaje de la batería a un valor dado del SOC y/o las tendencias de la resistencia de la batería durante la vida útil o la edad de calendario de una batería.

En el paso 118, la técnica de control de división de potencia 112 recibe datos de rendimiento del vehículo deseado variables en el tiempo que reflejan una demanda de potencia en tiempo real del sistema de propulsión 10. Tales datos de rendimiento del vehículo deseado variables en el tiempo se pueden determinar a partir de una entrada de usuario, tal como un evento de aceleración o desaceleración, por ejemplo, o a partir de información obtenida de una ruta de vehículo predeterminada o ciclo de trabajo, tal como a partir de información almacenada en la base de datos 74.

En el paso 120 se determina el impacto del funcionamiento de las unidades de almacenamiento de energía 14, 16 según la división de potencia. Específicamente, los datos de rendimiento deseado variables en el tiempo, la división de potencia inicial y los datos SOC en tiempo real y SOH en tiempo real se introducen en los modelos de degradación para las unidades de almacenamiento de energía 14, 16 en el paso 120. Los modelos de degradación 120 se usan para determinar un cambio en el estado de salud, ΔSOH, para cada unidad de almacenamiento de energía 14, 16 así como un cambio en el estado de carga, ΔSOC, para cada unidad de almacenamiento de energía 14, 16 en base a los valores de SOC y SOH en tiempo real 116 y la división de potencia inicial 114. En el paso 120, los modelos de degradación también se usan para determinar la potencia máxima disponible de la primera y segunda unidades de almacenamiento de energía 14, 16, que disminuye durante la vida útil de la primera y segunda unidades de almacenamiento de energía 14, 16.

En el paso 122, la técnica de control de división de potencia 112 determina si operar el sistema de almacenamiento de energía 12 de acuerdo con la división de potencia inicial infringe cualquier función de restricción de rendimiento del sistema. Estas funciones de restricción de rendimiento del sistema pueden incluir funciones que definen ciertos umbrales para el sistema de propulsión, tales como un límite térmico, potencia máxima, corriente máxima y/o voltaje máximo, como ejemplos.

Si la operación en la división de potencia inicial infringe una función de restricción de rendimiento del sistema 124, la técnica de control de división de potencia 112 modifica la división de potencia entre la primera y segunda unidades de almacenamiento de energía 14, 16 en el paso 126 y luego regresa al paso 120 para determinar el impacto de la división de potencia modificada de los modelos de degradación. Por ejemplo, si la división de potencia inicial asignó el 30 por ciento de la demanda de potencia total a la primera unidad de almacenamiento de energía 14 y el 70 por ciento restante de la demanda de potencia total a la segunda unidad de almacenamiento de energía 16, la división de potencia se puede modificar en el paso 126 para asignar 40 por ciento de la demanda total de potencia a la primera unidad de almacenamiento de energía 14 y el 60 por ciento restante a la segunda unidad de almacenamiento de energía 16.

Si, por otro lado, la operación en la división de potencia inicial no infringe una función de restricción de rendimiento del sistema 128, la técnica de control de división de potencia 112 continúa o bien con el paso 129 para determinar si la división de potencia está validada o bien continúa directamente con el paso 130 para ejecutar un algoritmo de división de potencia, como se describe a continuación.

En el caso de que la distribución de potencia actual no se determine como resultado de ejecutar un algoritmo de división de potencia, tal como durante el arranque de un sistema de propulsión donde la división de potencia actual se determina a partir de un valor por defecto, la técnica de control de división de potencia 112 pasa directamente del paso 122 al paso 130 para ejecutar un algoritmo de división de potencia que identifica una división de potencia optimizada o asignación de potencia para las unidades de almacenamiento de energía 14, 16. En el ejemplo ejemplar descrito en la presente memoria, el algoritmo de división de potencia es un algoritmo de optimización multiobjetivo que identifica un vector óptimo de coeficientes de división de potencia que proporciona un compromiso optimizado entre el deterioro de las unidades de almacenamiento de energía 14, 16 y la maximización del rendimiento del sistema de propulsión 10, como se describe en detalle a continuación. En ejemplos alternativos, el algoritmo de división de potencia puede ser un algoritmo simplificado basado en filtros, un algoritmo basado en reglas o basado en lógica, o un algoritmo basado en una o más tablas de consulta.

Según varios ejemplos de la descripción, el algoritmo de optimización multiobjetivo interactúa con los modelos no lineales que definen el sistema de almacenamiento de energía 12, tales como, por ejemplo, modelos para la eficiencia de la electrónica de potencia del sistema de propulsión y la eficiencia general del Tren de potencia del sistema de propulsión 10. El algoritmo de optimización multiobjetivo manipula las entradas de los modelos no lineales, tales como el requisito de rendimiento variable en el tiempo, la corriente y los voltajes del dispositivo, la frecuencia de conmutación, los factores de potencia y similares, con el fin de lograr el modelo deseado y salidas del sistema, incluyendo una eficiencia operativa deseada, economía de combustible y salida de potencia maximizada y cambios minimizados en el estado de salud (SOH) de las unidades de almacenamiento de energía 14, 16 sujetas a las restricciones operativas del sistema de propulsión 10.

El algoritmo de optimización multiobjetivo incorpora diferentes métodos de optimización según varios ejemplos. Como ejemplo no limitativo, los algoritmos de evolución que incorporan técnicas de optimización se pueden usar para simular procesos evolutivos naturales. Tales algoritmos de evolución son robustos a las relaciones de funciones de transferencia no uniformes, no lineales y multimodales. Alternativamente, se pueden aplicar técnicas de optimización de gradiente decente adecuadas para relaciones de función de transferencia uniformes y unimodales. Como otro ejemplo ejemplar más, el algoritmo de optimización se puede simplificar como basado en filtro de paso alto-bajo, basado en reglas/lógica o basado en tabla de consulta para reducir la demanda computacional y simplificar la implementación en tiempo real.

En funcionamiento, el algoritmo de optimización multiobjetivo prueba los diversos modelos no lineales del sistema de almacenamiento de energía 12 para identificar un conjunto óptimo de Pareto de tuplas vectoriales de entrada-salida que satisfacen las restricciones operativas del sistema de almacenamiento de energía 12. Cada tupla de entrada-salida corresponde a un vector de entrada de relaciones de división de potencia y un vector de salida de métricas tales como cambio en el estado de salud (SOH) de las unidades de almacenamiento de energía 14, 16 del sistema de almacenamiento de energía 12, cambio en el estado de carga (SOC) de las unidades de almacenamiento de energía 14, 16 del sistema de almacenamiento de energía 12, y el rendimiento pico de reserva disponible de las unidades de almacenamiento de energía 14, 16 del sistema de almacenamiento de energía 12. Las tuplas de entrada-salida óptimas de Pareto residen en el Pareto o frontera eficiente de soluciones, y son soluciones de compromiso mutuamente e igualmente buenas en ausencia de más información para la toma de decisiones adicional.

El algoritmo de optimización multiobjetivo utiliza una función de toma de decisiones para realizar una selección automatizada de una estrategia de división de potencia óptima de Pareto específica a ser desplegada como un comando de referencia que define una división de potencia para las unidades de almacenamiento de energía 14, 16. La función de toma de decisiones se basa en un modelo heurístico que se ajusta o corrige por sí mismo y que predice las necesidades de potencia y energía del sistema de propulsión 10 para un número predeterminado de pasos de tiempo futuros. El algoritmo de optimización multiobjetivo superpone la función de toma de decisiones sobre el conjunto de estrategias de división de potencia óptimo de Pareto para filtrar e identificar una estrategia de división de potencia óptima que optimice el rendimiento y la salud del sistema del vehículo en los pasos de tiempo futuros.

Después de ejecutar el algoritmo de optimización multiobjetivo en el paso 130, la técnica de control de división de potencia 112 comienza un bucle operativo que prueba y valida la salida de división de potencia mediante el algoritmo de optimización multiobjetivo. Como se ilustra en la FIG. 5, la técnica de control de división de potencia 112 vuelve al paso 120 y determina el impacto de la nueva división de potencia a partir de los modelos de degradación, de una manera similar a la descrita anteriormente con respecto a la división de potencia inicial. La técnica de control de división de potencia 112 pasa luego al paso 122 y determina si operar según la nueva división de potencia infringe cualquier función de restricción del sistema.

Si en el paso 122, la técnica de control de división de potencia 112 determina que la nueva división de potencia infringe una función de restricción del sistema 124, la división de potencia se modifica en el paso 126. Según un ejemplo, la técnica de control de división de potencia 112 puede modificar la división de potencia por un valor incremental, tal como disminuyendo el uso de una de las unidades de almacenamiento de energía en un cierto porcentaje y aumentando el uso de la otra unidad de almacenamiento de energía para generar el resto de la salida de potencia deseada. Alternativamente, la técnica de control de división de potencia 112 puede volver a ejecutar el

algoritmo de optimización multiobjetivo para generar una nueva división de potencia, esta vez aplicando diferentes pesos a los modelos no lineales.

Si la nueva división de potencia no infringe ninguna restricción del sistema 128, la técnica de control de división de potencia 112 pasa al paso 129 y determina si la división de potencia actual ha sido validada. Durante este paso, se evalúan el cambio en el estado de salud, ΔSOH, y el cambio en el estado de carga, ΔSOC, resultantes de la división de potencia actual para determinar si la división de potencia actual causará un gran impacto sobre el estado de salud y/o el estado de carga del sistema de almacenamiento de energía. En un ejemplo, el cambio en el estado de salud, ΔSOH, y el cambio en el estado de carga, ΔSOC, se pueden comparar con umbrales predefinidos respectivos.

Si cualquiera de los cambios en el estado de salud, ΔSOH, y el cambio en el estado de carga, ΔSOC, excede un umbral, entonces la división de potencia actual no ha sido validada 131. En esta situación, la potencia- la técnica de control de división 112 aplica el algoritmo de optimización multiobjetivo nuevamente en el paso 130 y la técnica de control de división de potencia 112 continúa ajustando iterativamente la división de potencia que se ejecuta a través de un bucle definido entre los pasos 120, 122, 129 y 130.

Si, al final de un número predeterminado de iteraciones, la técnica de control de división de potencia 112 determina que la iteración más reciente de la división de potencia derivada del algoritmo de optimización multiobjetivo no infringe las funciones de restricción del sistema 128 y la división de potencia ha sido validada 133, la técnica de control de división de potencia 112 pasa al paso 135 opcional (mostrado en línea de trazos) como se describe a continuación.

En un ejemplo, el algoritmo de optimización multiobjetivo puede generar múltiples divisiones de potencia posibles en el paso 130 durante una única iteración. Por ejemplo, durante una iteración dada, el algoritmo de optimización multiobjetivo puede generar una primera división de potencia establecida para lograr diez años de vida para el 85% de los clientes y una segunda división de potencia que se establece para lograr nueve años de vida para el 95% de los clientes. Suponiendo que cada una de estas múltiples divisiones de potencia no infringe una función de restricción del sistema en el paso 122 y ha sido validada en el paso 129, la técnica de control de división de potencia 112 determina cuál de estas estrategias de división de potencia emplear utilizando la toma de decisiones de compromiso en el paso 135. Esta toma de decisiones de compromiso puede ser un proceso automatizado basado en una ponderación predeterminada de diferentes factores y/o umbrales predeterminados para esos factores o se puede determinar en base a una selección del usuario. En un ejemplo alternativo, la toma de decisiones de compromiso se puede incorporar como parte del algoritmo de optimización multiobjetivo en el paso 130.

Después de la toma de decisiones de compromiso del paso 135, la técnica de control de división de potencia 112 pasa al paso 134 y emite una asignación de potencia de las unidades de almacenamiento de energía al controlador 64. La asignación de potencia corresponde a la iteración más reciente de la división de potencia e indica cómo se ha de dividir la demanda total de potencia entre las unidades de almacenamiento de energía. El controlador 64 implementa la asignación de potencia a través de comandos de control apropiados al primer y segundo convertidores de DC-DC bidireccionales 26, 28.

La técnica de control de división de potencia 112 se repite periódicamente durante el funcionamiento en tiempo real del sistema de propulsión 10. Según varios ejemplos, la frecuencia con la que se utiliza la técnica de control de división de potencia 112 para definir nuevas divisiones de potencia se puede determinar en función del tiempo, condiciones de funcionamiento cambiantes del vehículo, un estado cambiante del sistema de almacenamiento de energía, o una combinación de los mismos.

El funcionamiento optimizado de un sistema de propulsión para un vehículo híbrido o eléctrico también se puede lograr regulando dinámicamente el voltaje del bus de DC 36. Mientras que la técnica de regulación dinámica se describe a continuación con respecto al sistema de propulsión 10 de la FIG. 1, se contempla que la técnica se puede extender para controlar el voltaje o voltajes del enlace de DC de configuraciones alternativas del sistema de propulsión, tales como, por ejemplo, el sistema de propulsión 78 (FIG. 2) o el sistema de propulsión 92 (FIG. 3). En un ejemplo, la regulación dinámica del voltaje del bus de DC se lleva a cabo simultáneamente con la técnica de control de división de potencia 112 descrita anteriormente. En otro ejemplo más, la regulación dinámica del voltaje del bus de DC se puede llevar a cabo independientemente sin la técnica de control de división de potencia 112 descrita anteriormente.

Haciendo referencia ahora a la FIG. 6, y con referencia continua a los elementos de la FIG. 1, cuando sea apropiado, se expone una técnica de control de voltaje dinámico 136 para regular el voltaje del bus de DC del sistema de propulsión 10. Además de controlar la división de potencia entre las unidades de almacenamiento de energía 14, 16 del sistema de almacenamiento de energía 12, el controlador 64 también controla dinámicamente el voltaje del enlace de DC del bus de DC 36 en consecuencia de modo que el sistema de propulsión 10 pueda acercarse a su eficiencia óptima durante la operación. Como se describe en detalle a continuación, el controlador 64 monitoriza un voltaje de DC del bus de DC 36 y calcula un comando de voltaje óptimo para cada paso de tiempo de operación y transmite continuamente los comandos de voltaje al primer y segundo convertidores de DC-DC bidireccionales 26, 28 a través de las líneas de control 66.

En el paso 138, la técnica de control de voltaje dinámico 136 determina el voltaje en tiempo real del bus de DC o bien a través de una medición recibida del sensor de voltaje 38 o bien accediendo al comando de voltaje del bus de DC anterior transmitido por el controlador 64 a los primeros convertidores de DC-DC bidireccionales 26, 28. Este comando de voltaje del bus de DC anterior puede ser un comando de voltaje inicial transmitido tras arrancar el sistema de propulsión 10 o el comando de voltaje transmitido durante un paso de tiempo anterior durante el funcionamiento en tiempo real del sistema de propulsión 10.

La técnica de control de voltaje dinámico 136 accede a los valores de par en tiempo real y velocidad en tiempo real del primer y segundo dispositivos electromecánicos 46, 50 en el paso 140. Usando el par en tiempo real y el voltaje del bus de DC en tiempo real, la técnica de control de voltaje dinámico 136 identifica una velocidad programada correspondiente en el paso 141.

Según la invención, la velocidad programada correspondiente al par en tiempo real y al voltaje del bus de DC en tiempo real se determina a partir de una tabla de consulta de programación de voltaje indexada por el par medido del dispositivo electromecánico y el voltaje del bus de DC. En un ejemplo, la tabla de consulta de programación de voltaje se genera a partir de un mapa de programación de voltaje, tal como, por ejemplo, el mapa de programación de voltaje 144 ilustrado en la FIG. 7, que es un gráfico de contorno del voltaje óptimo generado para una rejilla de malla de par y velocidad del dispositivo electromecánico. Como reconocerá un experto en la técnica, la FIG. 7 se muestra con propósitos de ilustración como un solo cuadrante, es decir, voltaje óptimo para par positivo y velocidad positiva. Sin embargo, el gráfico de contorno utilizado con propósitos de control incluiría cuatro cuadrantes, es decir, tanto el par positivo y el negativo como la velocidad positiva y negativa. El mapa de programación de voltaje define los voltajes de bus de DC óptimos en un rango de pares operativos y velocidades operativas para un dispositivo electromecánico en particular. Como se muestra en la FIG. 7, el mapa de programación de voltaje 144 incluye una serie de curvas operativas 146, 148, 150, 152, 154, 156 correspondientes a diferentes niveles de voltaje del bus de DC, tales como, por ejemplo, 250 V, 350 V, 450 V, 550 V, 650 V, y 700 V, para operar un dispositivo electromecánico particular. Dado un par de entradas de par motor y velocidad, la tabla de consulta de programación de voltaje generada a partir del mapa de programación de voltaje 144 se puede usar para identificar un voltaje de DC óptimo para el sistema de propulsión de vehículos bajo el cual la pérdida del sistema es mínima. Como ejemplo, si el voltaje del bus de DC en tiempo real es de 250 V y el par en tiempo real es de 20 Nm, la velocidad programada se determinaría que es 2000 rpm en el paso 141 en base al mapa de programación de voltaje 146.

En el paso 158, la velocidad de funcionamiento en tiempo real del dispositivo electromecánico se compara con la velocidad programada del dispositivo electromecánico determinada en el paso 141. La técnica de control de voltaje dinámico 136 determina a continuación si la diferencia entre la velocidad programada y la velocidad de funcionamiento en tiempo real del dispositivo electromecánico es mayor que un umbral en el paso 160. Si la diferencia entre la velocidad programada y la velocidad de funcionamiento en tiempo real es mayor que un valor umbral 162, se genera un nuevo comando de voltaje en el paso 163.

En el paso 163, la técnica de control de voltaje dinámico 136 determina el nuevo valor de comando de voltaje a partir de una tabla de consulta de programación de voltaje generada a partir del mapa de programación de voltaje 144 y en base a los valores de par en tiempo real y velocidad en tiempo real para el dispositivo electromecánico. Siguiendo el ejemplo descrito anteriormente con una velocidad programada de 2000 RPM, un par de 20 Nm y un voltaje de bus de DC de 250 V, si la velocidad en tiempo real ha aumentado de 1500 RPM a 2500 RPM, la técnica de control de voltaje dinámico 136 generará un nuevo comando de voltaje en el paso 163 para hacer que el voltaje del bus de DC se desplace hasta un nivel de voltaje más alto, tal como 350 V (correspondiente a la curva 148). Si el punto de funcionamiento en tiempo real del dispositivo electromecánico, según se determina a partir de los valores de par en tiempo real y velocidad en tiempo real, no cae en una de las curvas operativas del mapa de programación de voltaje 144, el valor de comando de voltaje se puede determinar por interpolación lineal o seleccionando la curva de operación más cercana al punto de operación en tiempo real.

El nuevo comando de voltaje generado en el paso 163 se transmite al primer y segundo convertidores de DC-DC bidireccionales 26, 28 en el paso 164, haciendo así que el voltaje en el bus de DC o bien aumente o bien disminuya de acuerdo con el nuevo comando de voltaje. En el ejemplo descrito anteriormente, el voltaje en el bus de DC se controla para aumentar y disminuir en un intervalo de voltaje predefinido, tal como, por ejemplo, en pasos de 50 V o 100 V. Sin embargo, los ejemplos alternativos pueden generar comandos de voltaje que cambien el voltaje del bus de DC en pasos más grandes o más pequeños.

Si, por otro lado, la diferencia entre la velocidad programada y la velocidad de funcionamiento en tiempo real del dispositivo electromecánico no es mayor que el valor umbral 166, la técnica de control de voltaje dinámico 136 vuelve al paso 140 después de iniciar un paso de espera 168 opcional (mostrado en líneas de trazos).

En los ejemplos de sistemas de propulsión que incluyen múltiples dispositivos electromecánicos, se genera un mapa de programación de voltaje separado para cada dispositivo electromecánico. En un ejemplo, el mapa de programación de voltaje se deriva empíricamente para cada dispositivo electromecánico fuera de línea. Para sistemas de propulsión que tienen múltiples dispositivos electromecánicos acoplados a buses de DC independientes, tales como los ejemplos ilustrados en las FIGS. 2 y 3, los comandos de voltaje individuales se generan de la manera descrita con respecto a los pasos 138-168 de la técnica de control de voltaje dinámico 136 y

se usan para controlar independientemente el voltaje en cada bus de DC. Alternativamente, donde los dispositivos electromecánicos están acoplados a un bus de DC común, tal como el ejemplo ilustrado en la FIG. 1, los comandos de voltaje se generan de la manera descrita con respecto a los pasos 138-168 de la técnica de control de voltaje dinámico 136 y luego se fusionan en un comando de voltaje para controlar el voltaje en el bus de DC.

En un ejemplo, los comandos de voltaje individuales para cada dispositivo electromecánico se combinan usando lógica de votación, que puede definir el comando de voltaje fusionado como la mediana o la moda de los voltajes de cada uno de los comandos de voltaje individuales. En otro ejemplo, el comando de voltaje fusionado se determina utilizando una lógica de ponderación que pondera cada uno de los comandos de voltaje individuales con un número de ponderación entre 0 y 1. El número de ponderación para cada dispositivo electromecánico se selecciona como un índice de cuánto afecta el voltaje variable a la eficiencia operativa global del sistema de propulsión. Los números de ponderación se pueden determinar en base a uno o más parámetros operativos conocidos del dispositivo electromecánico, tales como la potencia máxima, la eficiencia máxima y el rango de alta eficiencia. En tal ejemplo, los dispositivos electromecánicos con alta salida de potencia, baja eficiencia y rangos de eficiencia estrechos recibirán valores de índice o números de ponderación altos. Alternativamente, los números de ponderación se pueden determinar dinámicamente en base a las condiciones de funcionamiento en tiempo real del dispositivo electromecánico. En este caso, el número de ponderación para un dispositivo electromecánico se determinaría específicamente para un nivel de voltaje particular y puede variar con los ajustes al voltaje programado del bus de DC.

La técnica de control de voltaje dinámico 136 del enlace de DC incluye lógica para evitar la transmisión de comandos de voltaje que causarían fluctuaciones indeseables en el voltaje del bus de DC durante el funcionamiento, haciendo así que la técnica de control dinámico 136 sea robusta al ruido. Para lograr esta técnica de control dinámico 136 implementa un nuevo comando de voltaje solo cuando el cambio en la velocidad en tiempo real del dispositivo electromecánico entre iteraciones consecutivas exceda un valor umbral predeterminado.

Como se describió anteriormente, los ejemplos de la descripción utilizan técnicas de optimización fuera de línea y en línea para diseñar y operar sistemas de propulsión de vehículos para vehículos eléctricos y vehículos eléctricos híbridos. La técnica de optimización fuera de línea determina una configuración de diseño para un sistema de almacenamiento de energía de un sistema de propulsión de vehículos que minimiza el tamaño de las unidades de almacenamiento de energía dentro del sistema de almacenamiento de energía al tiempo que se proporciona una configuración de diseño que logra las restricciones deseadas del sistema, tales como la salida de potencia máxima y los años de vida deseados. Para maximizar aún más la vida útil de las unidades de almacenamiento de energía provistas dentro de un sistema de almacenamiento de energía dado, en la presente memoria se describe una técnica de optimización en línea que ajusta una división de potencia entre las unidades de almacenamiento de energía durante la operación del sistema de propulsión del vehículo para lograr una demanda de potencia total del sistema de propulsión mientras que se monitoriza el estado de carga y el estado de salud de las unidades de almacenamiento de energía. Los ejemplos de la descripción también utilizan una técnica de regulación de voltaje en línea que controla dinámicamente el voltaje del bus de DC en base a la velocidad de los dispositivos electromecánicos y un mapa de programación de voltaje predeterminado específico para cada dispositivo electromecánico. Como se describió anteriormente, estas técnicas en línea y fuera de línea mejoran el rendimiento y la eficiencia general del sistema al tiempo que se optimizan la vida útil de las unidades de almacenamiento de energía y se reducen el coste general de fabricación del sistema de propulsión de vehículos.

Un experto en la técnica apreciará que el controlador 64 se puede implementar a través de una pluralidad de componentes tales como uno o más componentes electrónicos, componentes de hardware y/o componentes de software informático. Estos componentes pueden incluir uno o más medios de almacenamiento legibles por ordenador tangibles que generalmente almacenan instrucciones, tales como software, microprogramas y/o lenguaje ensamblador para realizar una o más partes de una o más implementaciones o ejemplos. Los ejemplos de un medio de almacenamiento tangible legible por ordenador incluyen un medio de almacenamiento de datos registrables y/o un dispositivo de almacenamiento masivo. Tal medio de almacenamiento tangible legible por ordenador puede emplear, por ejemplo, uno o más de un medio de almacenamiento de datos magnéticos, eléctricos, ópticos, biológicos y/o atómicos. Además, tales medios pueden adoptar la forma de, por ejemplo, disquetes, cintas magnéticas, CD-ROM, DVD-ROM, unidades de disco duro y/o memoria electrónica. Se pueden emplear otras formas de medios de almacenamiento legibles por ordenador tangibles no enumerados con ejemplos de la descripción.

Una serie de tales componentes se pueden combinar o dividir en una implementación de los sistemas descritos en la presente memoria. Además, tales componentes pueden incluir un conjunto y/o una serie de instrucciones informáticas escritas o implementadas con cualquiera de una serie de lenguajes de programación, como se apreciará por los expertos en la técnica.

Una contribución técnica para el aparato descrito es que proporciona una técnica implementada por controlador para controlar un convertidor de DC-DC bidireccional para cambiar un voltaje de un bus de DC en base a una comparación entre la velocidad de funcionamiento en tiempo real de un dispositivo electromecánico y una velocidad programada del dispositivo electromecánico.

Según un ejemplo de la descripción, un sistema de propulsión de vehículos incluye un primer convertidor de DC-DC bidireccional acoplado a un primer bus de DC, un sistema de almacenamiento de energía que comprende al menos una unidad de almacenamiento de energía acoplada al primer convertidor de DC-DC bidireccional, un primer inversor de DC a AC acoplado al primer bus de DC y un primer dispositivo electromecánico acoplado al primer inversor de DC a AC. Se programa un controlador para determinar una velocidad de operación en tiempo real del primer dispositivo electromecánico, comparar la velocidad de operación en tiempo real del primer dispositivo electromecánico con una velocidad programada del primer dispositivo electromecánico y controlar selectivamente el primer convertidor de DC-DC bidireccional para cambiar un voltaje del primer bus de DC en base a la comparación.

De acuerdo con otro ejemplo de la descripción, un método de fabricación de un sistema de propulsión de vehículos incluye proporcionar un convertidor de DC-DC, acoplar un sistema de almacenamiento de energía al convertidor de DC-DC, acoplar el convertidor de voltaje de DC-DC a un bus de DC y acoplar un primer inversor de DC a AC al bus de DC. El método también incluye acoplar un primer dispositivo electromecánico al inversor de DC a AC y acoplar un controlador al convertidor de DC-DC y al primer inversor de DC a AC. Además, el método incluye configurar el controlador para monitorizar una velocidad en tiempo real del primer dispositivo electromecánico, determinar una velocidad programada del primer dispositivo electromecánico, calcular una diferencia entre la velocidad programada y la velocidad en tiempo real, y si la diferencia calculada excede un umbral, controlar el convertidor de DC-DC para cambiar un voltaje del bus de DC desde un primer nivel de voltaje a un segundo nivel de voltaje diferente del primer voltaje.

De acuerdo con otro ejemplo más de la descripción, un medio de almacenamiento legible por ordenador no transitorio tiene un programa informático almacenado en el mismo y representa un conjunto de instrucciones que, cuando se ejecutan por un ordenador, hacen que el ordenador monitorice una velocidad en tiempo real de un primer dispositivo electromecánico acoplado a un bus de DC a través de un inversor de DC a AC y determinar una velocidad programada del primer dispositivo electromecánico. Las instrucciones también hacen que el ordenador compare la velocidad en tiempo real del primer dispositivo electromecánico con la velocidad programada del primer dispositivo electromecánico, controle un convertidor de DC-DC bidireccional para transferir potencia desde un sistema de almacenamiento de energía al bus de DC, y controle el convertidor de DC-DC bidireccional para ajustar selectivamente un voltaje del bus de DC en base a la comparación de la velocidad en tiempo real del primer dispositivo electromecánico con la velocidad programada del primer dispositivo electromecánico.

Si bien la descripción se ha descrito en detalle en conexión con solo un número limitado de ejemplos, se debería entender fácilmente que la descripción no se limita a tales ejemplos descritos. Más bien, la descripción se puede modificar para incorporar cualquier número de variaciones, alteraciones o sustituciones no descritas hasta ahora, pero que son acordes con el alcance de la invención como se define en las reivindicaciones adjuntas. Además, aunque se han descrito varios ejemplos de la descripción, se ha de entender que los aspectos de la descripción pueden incluir solo algunos de los ejemplos descritos. En consecuencia, la invención no se ha de ver limitada por la descripción anterior, sino que solamente está limitada por el alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de propulsión de vehículos (10) que comprende:

un primer convertidor de DC-DC bidireccional (26) acoplado a un primer bus de DC (36, 80);

un sistema de almacenamiento de energía (12) que comprende al menos una unidad de almacenamiento de energía (14) acoplada al primer convertidor de DC-DC bidireccional (26);

un primer inversor de de DC a AC (44) acoplado al primer bus de DC (36, 80);

un primer dispositivo electromecánico (46) acoplado al primer inversor de DC a AC (44); y

un controlador (64) programado para:

determinar una velocidad de funcionamiento en tiempo real del primer dispositivo electromecánico (46);

determinar una velocidad programada del primer dispositivo electromecánico (46) a partir de una tabla de consulta de programación de voltaje en base a un par en tiempo real del primer dispositivo electromecánico (46) y el voltaje en tiempo real del primer bus de DC (36, 80); y

comparar la velocidad de funcionamiento en tiempo real del primer dispositivo electromecánico (46) con la velocidad programada del primer dispositivo electromecánico (46);

caracterizado por que el controlador está programado para controlar el convertidor de DC-DC (26) para:

cambiar el voltaje del primer bus de DC (36, 80) en un intervalo de voltaje predeterminado;

aumentar el voltaje del bus de DC (36, 80) en el intervalo de voltaje predefinido si la velocidad programada del primer dispositivo electromecánico (46) es menor que la velocidad de funcionamiento en tiempo real del primer dispositivo electromecánico; y

disminuir el voltaje del bus de DC (36, 80) en el intervalo de voltaje predefinido si la velocidad programada del primer dispositivo electromecánico (46) es mayor que la velocidad de funcionamiento en tiempo real del primer dispositivo electromecánico.

2. El sistema de propulsión de vehículos (10) de la reivindicación 1, en donde el controlador (46) está programado además para cambiar el voltaje del primer bus de DC (36, 80) a un nuevo voltaje determinado a partir de la tabla de consulta de programación de voltaje para el primer dispositivo electromecánico (46).

3. El sistema de propulsión de vehículos (10) de la reivindicación 2 o la reivindicación 3, que comprende además:

un segundo inversor de DC a AC acoplado al primer bus de DC (36, 80); y

un segundo dispositivo electromecánico (50) acoplado al segundo inversor de DC a AC.

4. El sistema de propulsión de vehículos (10) de cualquier reivindicación anterior, en donde el primer dispositivo electromecánico (46) comprende un motor eléctrico.

5. Un método de fabricación de un sistema de propulsión de vehículos (10), el método que comprende:

proporcionar un convertidor de DC-DC (26, 28);

acoplar un sistema de almacenamiento de energía (12) al convertidor de DC-DC (26, 28);

acoplar el convertidor de voltaje de DC-DC a un bus de DC (36);

acoplar un primer inversor de DC a AC (44) al bus de DC;

acoplar un primer dispositivo electromecánico (46) al inversor de DC a AC (44);

acoplar un controlador (46) al convertidor de DC-DC (26, 28) y al primer inversor de DC a AC (44); y

configurar el controlador (46) para:

monitorizar una velocidad en tiempo real del primer dispositivo electromecánico (46);

determinar una velocidad programada a partir de una tabla de consulta de programación de voltaje del primer dispositivo electromecánico (46) en base al par en tiempo real y el voltaje en tiempo real del primer bus de DC (36, 80); y

calcular una diferencia entre la velocidad programada y la velocidad en tiempo real;

caracterizado por configurar el controlador para controlar el convertidor de DC-DC (26) para:

cambiar el voltaje del primer bus de DC (36, 80) por un intervalo de voltaje predeterminado;

aumentar el voltaje del bus de DC (36, 80) en el intervalo de voltaje predefinido si la velocidad programada del primer dispositivo electromecánico (46) es menor que la velocidad en tiempo real del primer dispositivo electromecánico; y

disminuir el voltaje del bus de DC (36, 80) en el intervalo de voltaje predefinido si la velocidad programada del primer dispositivo electromecánico (46) es mayor que la velocidad en tiempo real del primer dispositivo electromecánico.

6. Un medio de almacenamiento legible por ordenador no transitorio que tiene un programa informático almacenado en el mismo y que representa un conjunto de instrucciones que cuando se ejecutan por el controlador (46) del sistema de propulsión de vehículos (10) de la reivindicación 1, hacen que el controlador (46) del sistema de propulsión de vehículos (10) de la reivindicación 1:

monitorice una velocidad en tiempo real de un primer dispositivo electromecánico (46) acoplado a un bus de DC (36) a través de un inversor de DC a AC (44);

determine una velocidad programada a partir de una tabla de consulta de programación de voltaje del primer dispositivo electromecánico (46) en base al par en tiempo real y al voltaje en tiempo real del primer bus de DC (36, 80);

compare la velocidad en tiempo real del primer dispositivo electromecánico (46) con la velocidad programada del primer dispositivo electromecánico (46); y

controle un convertidor de DC-DC bidireccional (26, 28) para transferir potencia desde un sistema de almacenamiento de energía (12) al bus de DC (36);

caracterizado por que el conjunto de instrucciones, cuando se ejecutan por el controlador (46) del sistema de propulsión de vehículos (10) de la reivindicación 1, hace que el controlador (46) del sistema de propulsión de vehículos (10) de la reivindicación 1 controle el convertidor de DC-DC bidireccional (26, 28) para:

cambiar el voltaje del primer bus de DC (36, 80) en un intervalo de voltaje predeterminado;

aumentar el voltaje del bus de DC (36, 80) en el intervalo de voltaje predefinido si la velocidad programada del primer dispositivo electromecánico (46) es menor que la velocidad en tiempo real del primer dispositivo electromecánico; y

disminuir el voltaje del bus de DC (36, 80) en el intervalo de voltaje predefinido si la velocidad programada del primer dispositivo electromecánico (46) es mayor que la velocidad en tiempo real del primer dispositivo electromecánico.

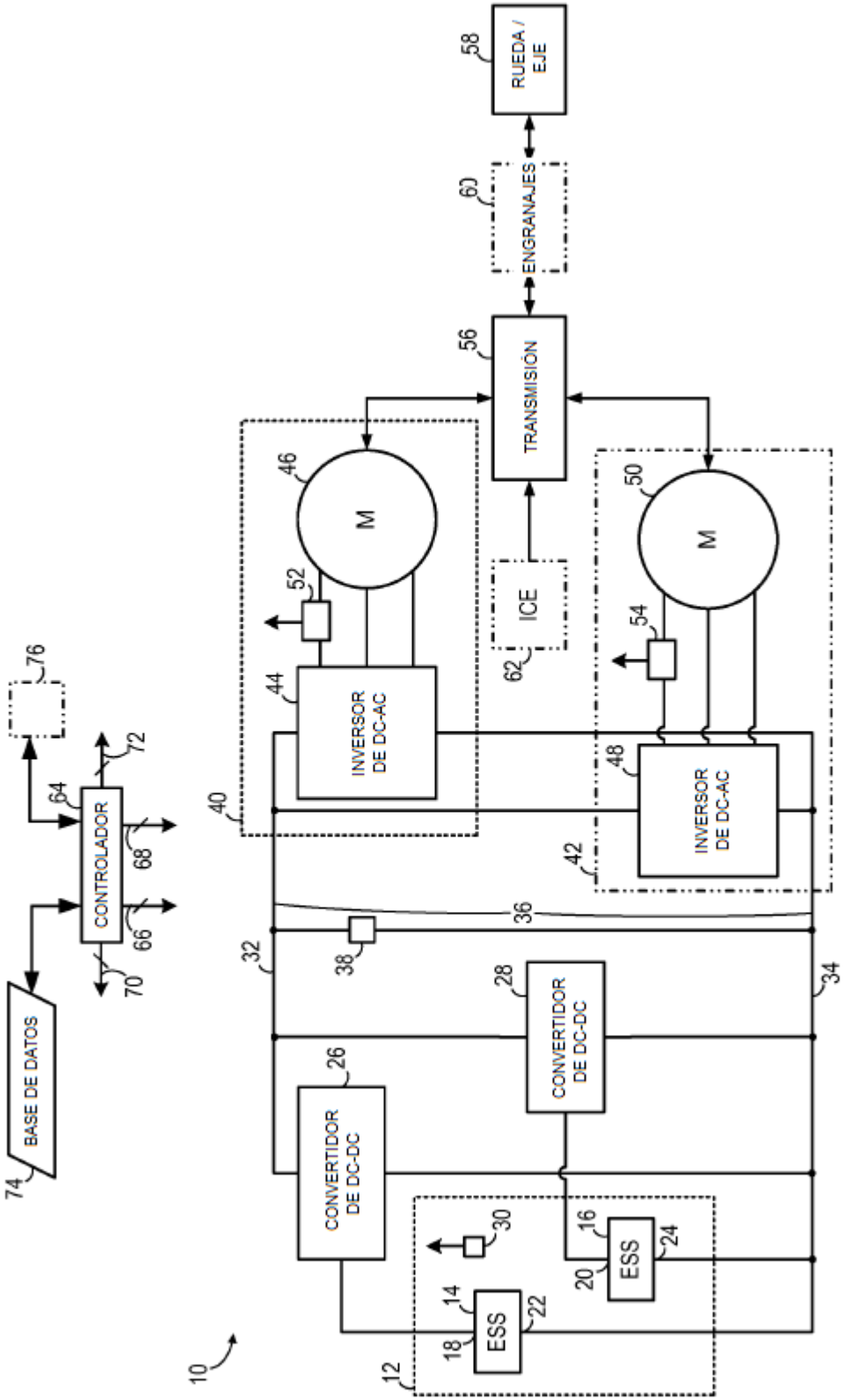

RUEDA / EJE
58
ENGRANAJES
60
TRANSMISION
56
M
46
M
50
ICE
62
52
54
INVERSOR DE DC-AC
44
INVERSOR DE DC-AC
48
40
42
36
38
32
34
CONVERTIDOR DE DC-DC
28
CONVERTIDOR DE DC-DC
26
30
16
24
20
ESS
14
22
18
ESS
12
10
76
72
64
CONTROLADOR
68
66
70
BASE DE DATOS
74

FIG. 1

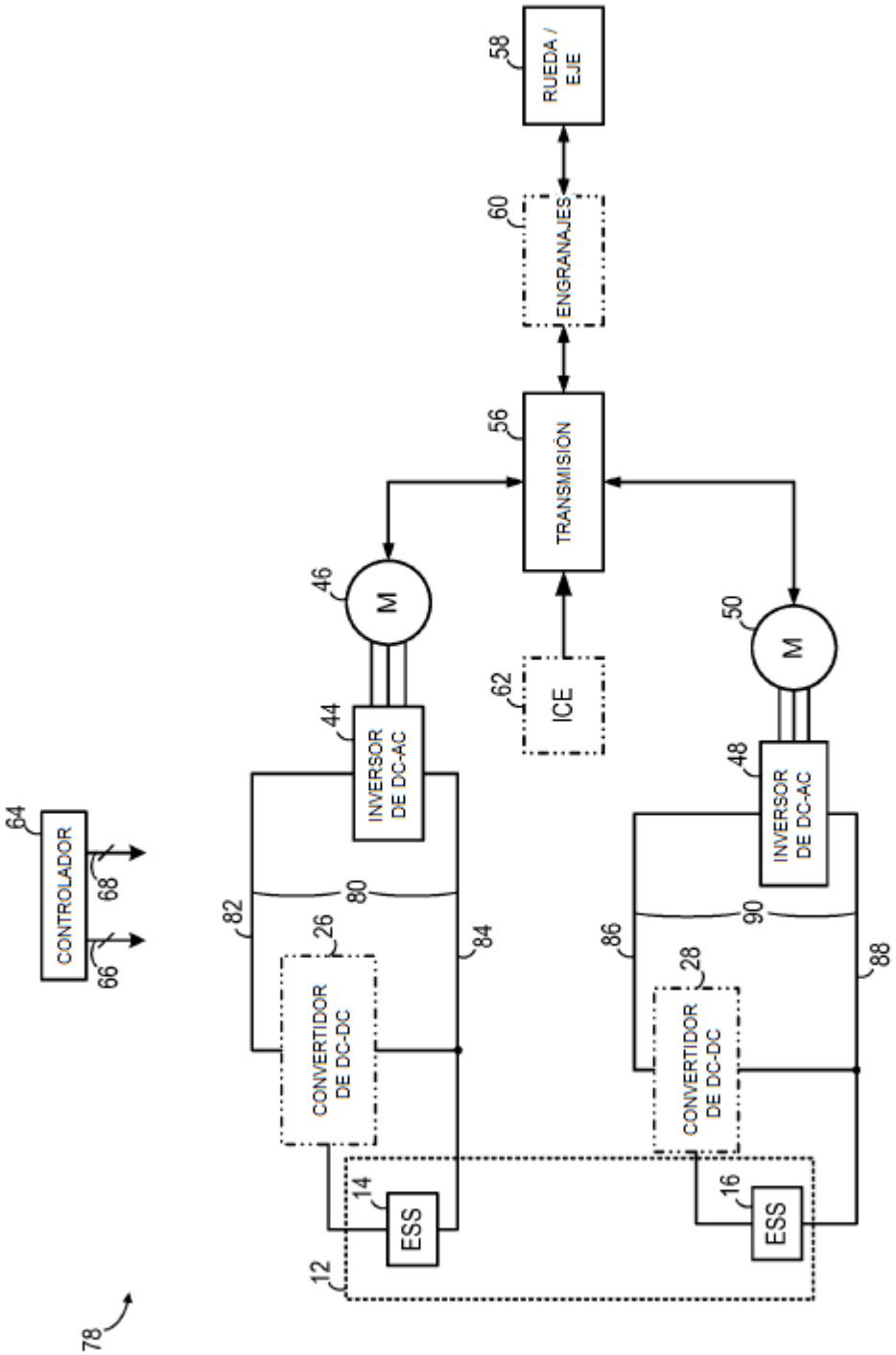

58
RUEDA / EJE
60
ENGRANAJES
56
TRANSMISION
62
ICE
46
M
50
M
44
INVERSOR DE DC-AC
48
INVERSOR DE DC-AC
64
CONTROLADOR
68
66
82
80
84
86
90
88
26
CONVERTIDOR DE DC-DC
28
CONVERTIDOR DE DC-DC
14
ESS
16
ESS
12
78

FIG. 2

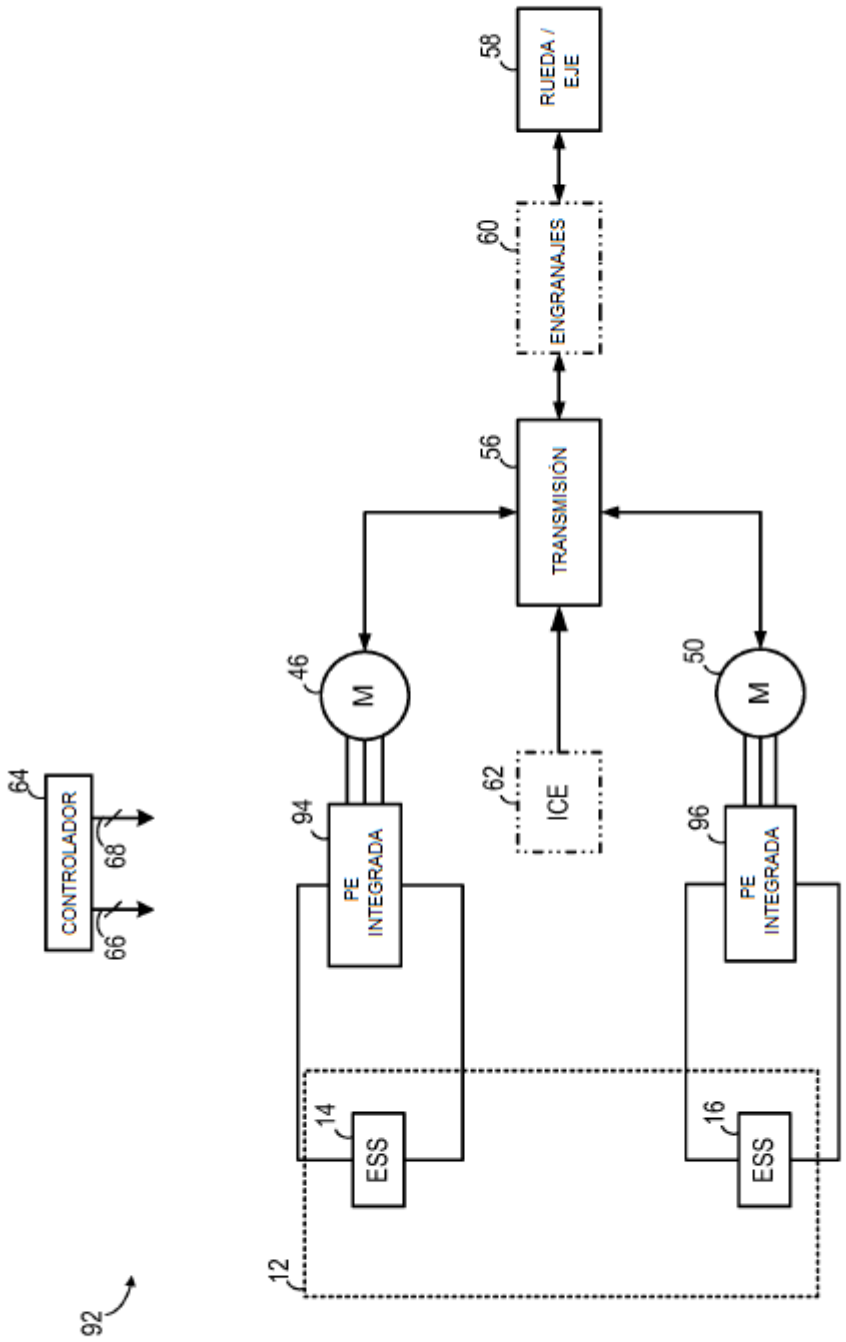

92
12
ESS
14
ESS
16
PE INTEGRADA
94
PE INTEGRADA
96
M
46
M
50
ICE
62
TRANSMISIÓN
56
ENGRANAJES
60
RUEDA / EJE
58
CONTROLADOR
64
68
66

FIG. 3

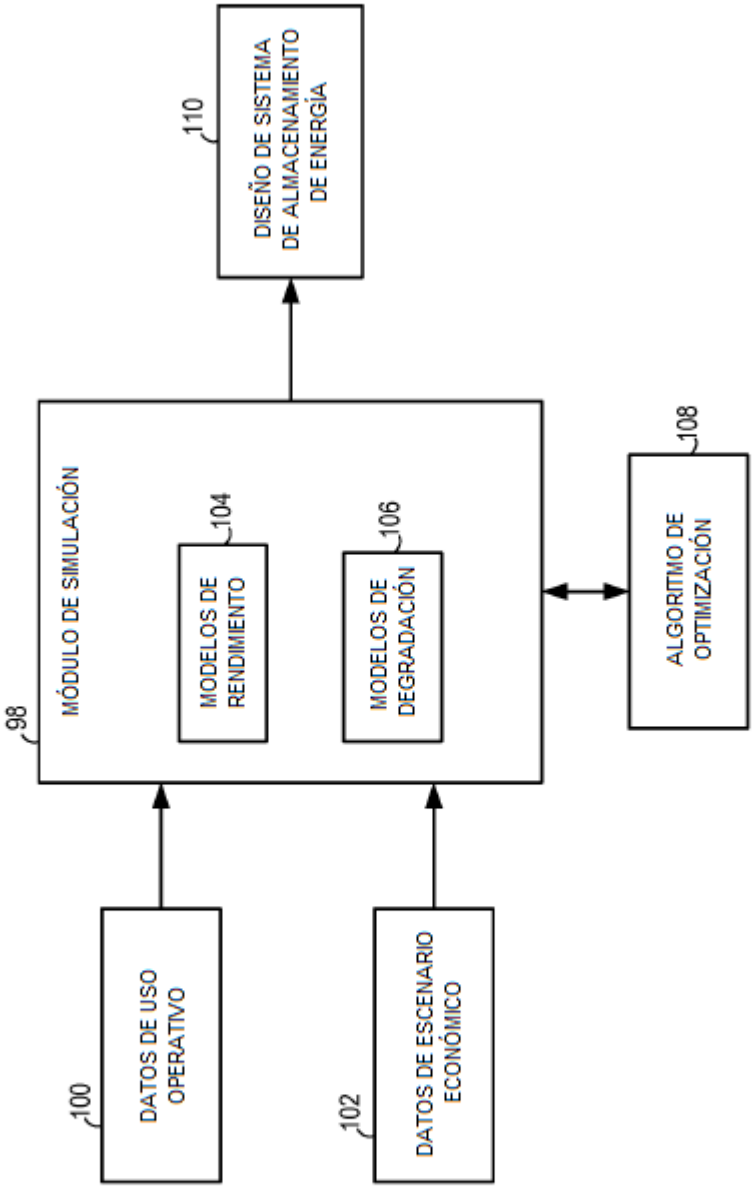

110
DISEÑO DE SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA
98
MÓDULO DE SIMULACIÓN
104
MODELOS DE RENDIMIENTO
106
MODELOS DE DEGRADACIÓN
108
ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN
100
DATOS DE USO OPERATIVO
102
DATOS DE ESCENARIO ECONÓMICO

FIG. 4

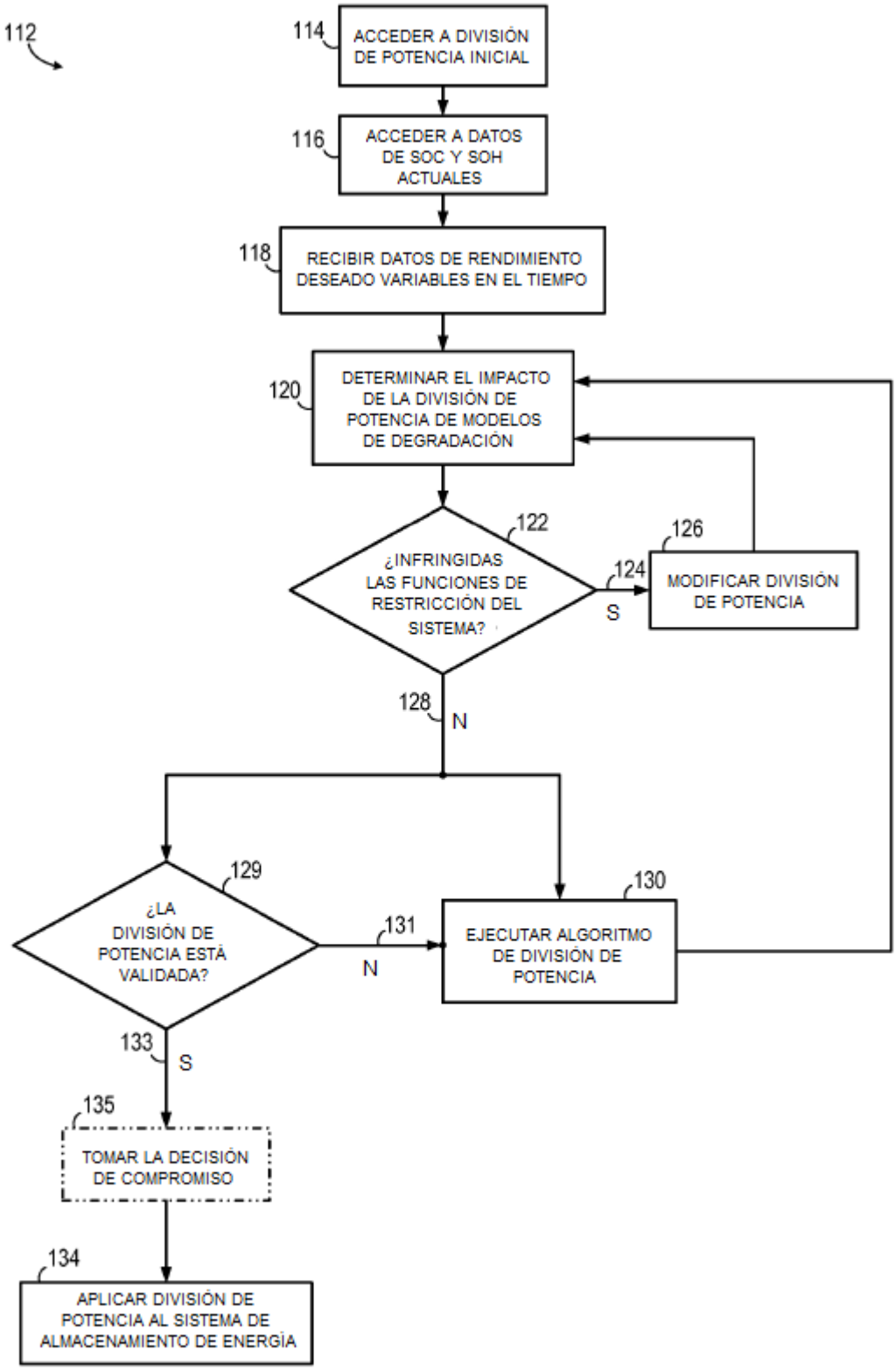

112
114
ACCEDER A DIVISIÓN DE POTENCIA INICIAL
116
ACCEDER A DATOS DE SOC Y SOH ACTUALES
118
RECIBIR DATOS DE RENDIMIENTO DESEADO VARIABLES EN EL TIEMPO
120
DETERMINAR EL IMPACTO DE LA DIVISIÓN DE POTENCIA DE MODELOS DE DEGRADACIÓN
122
¿INFRINGIDAS LAS FUNCIONES DE RESTRICCIÓN DEL SISTEMA?
124
S
126
MODIFICAR DIVISIÓN DE POTENCIA
128
N
129
¿LA DIVISIÓN DE POTENCIA ESTÁ VALIDADA?
131
N
130
EJECUTAR ALGORITMO DE DIVISIÓN DE POTENCIA
133
S
135
TOMAR LA DECISIÓN DE COMPROMISO
134
APLICAR DIVISIÓN DE POTENCIA AL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

FIG. 5

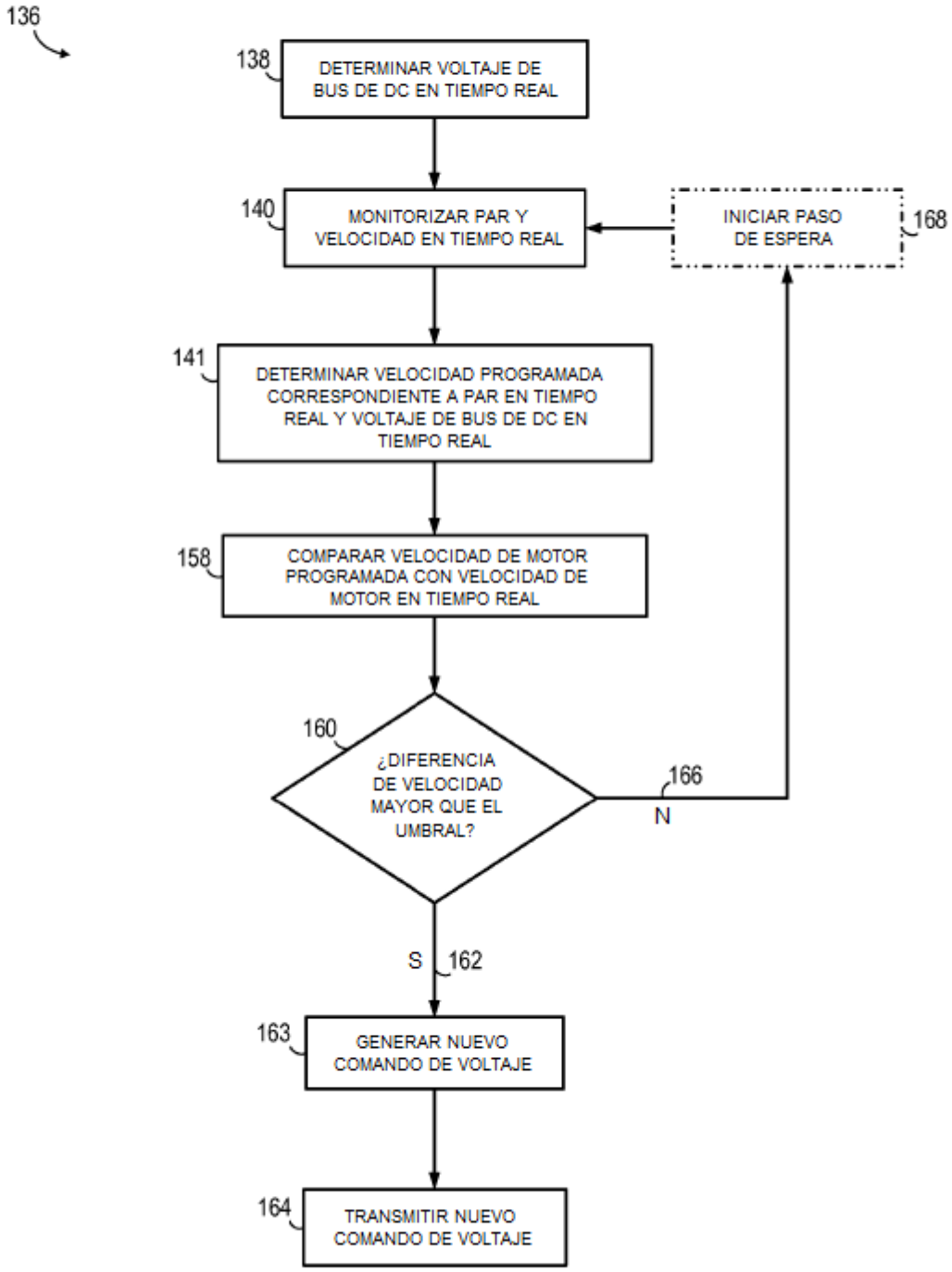

136
138
DETERMINAR VOLTAJE DE BUS DE DC EN TIEMPO REAL
140
MONITORIZAR PAR Y VELOCIDAD EN TIEMPO REAL
INICIAR PASO DE ESPERA
168
141
DETERMINAR VELOCIDAD PROGRAMADA CORRESPONDIENTE A PAR EN TIEMPO REAL Y VOLTAJE DE BUS DE DC EN TIEMPO REAL
158
COMPARAR VELOCIDAD DE MOTOR PROGRAMADA CON VELOCIDAD DE MOTOR EN TIEMPO REAL
160
¿DIFERENCIA DE VELOCIDAD MAYOR QUE EL UMBRAL?
166
N
S
162
163
GENERAR NUEVO COMANDO DE VOLTAJE
164
TRANSMITIR NUEVO COMANDO DE VOLTAJE

FIG. 6

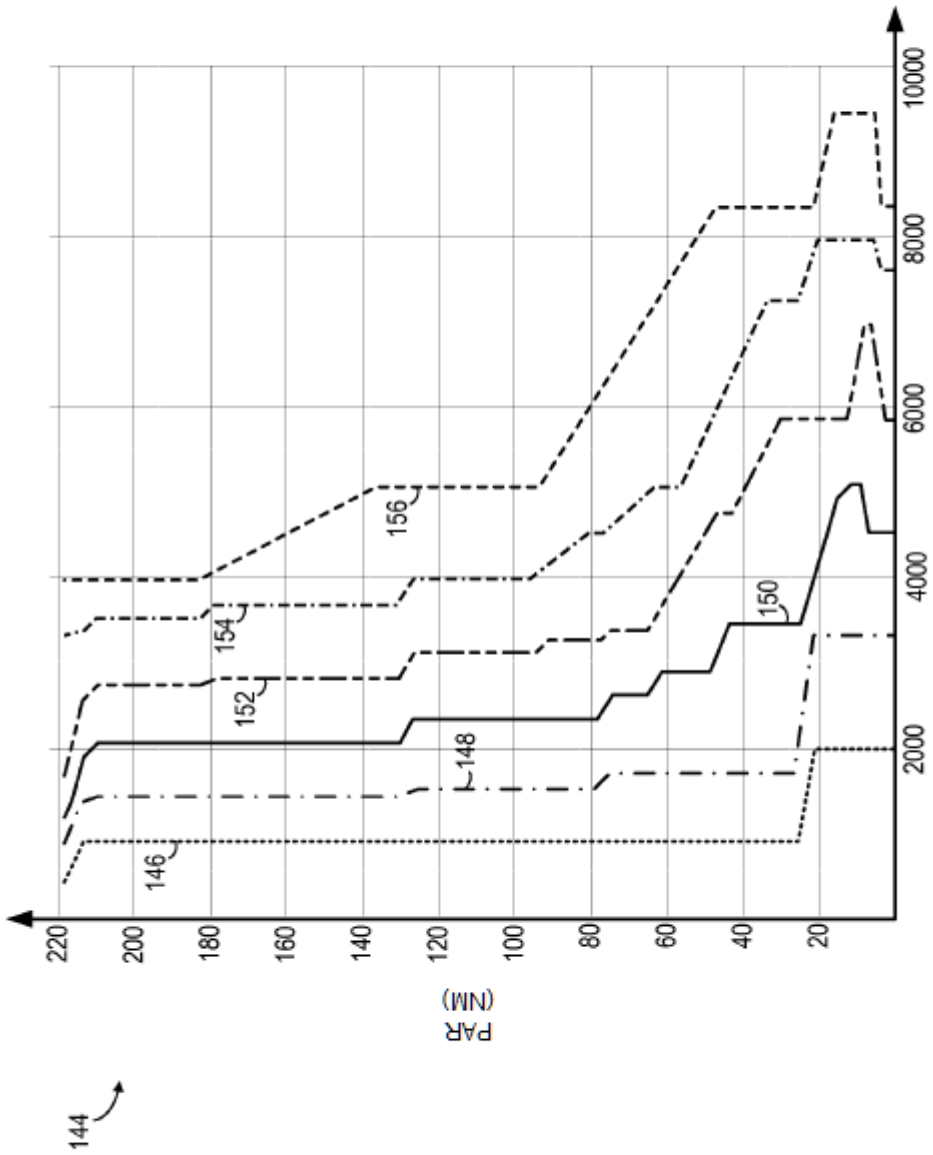

144
PAR
(NM)
220
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
146
154
152
148
156
150
2000
4000
6000
8000
10000
VELOCIDAD
(RPM)

FIG. 7