

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 958 657**

51 Int. Cl.:

G01R 31/00	(2006.01)	H02M 7/5387	(2007.01)
H02M 7/53862	(2007.01)	H02M 1/32	(2007.01)
H02P 29/024	(2006.01)	H02P 29/032	(2006.01)
H02P 29/10	(2006.01)		
H02P 27/06	(2006.01)		
H02P 27/04	(2006.01)		
B60L 3/00	(2009.01)		
B60L 50/51	(2009.01)		
G01R 31/34	(2010.01)		
G01R 31/36	(2010.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.04.2018 PCT/US2018/027849**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **25.10.2018 WO18195003**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.04.2018 E 18787396 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.08.2023 EP 3612847**

54 Título: **Vehículo y método de control del mismo y sistema**

30 Prioridad:

20.04.2017 CN 201710260910

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.02.2024

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**LIU, CHANGJIN;
LI, FEI y
WU, TAO**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 958 657 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

Vehículo y método de control del mismo y sistema

Campo técnico

5 La presente descripción hace referencia generalmente al campo del control, y en particular, a un vehículo capaz de un control tolerante a fallos cuando se produce un fallo en un inversor durante la marcha del vehículo y un método de control del mismo, y un sistema capaz de un control tolerante a fallos cuando se produce un fallo en un inversor durante el funcionamiento de una máquina eléctrica de CA.

Técnica anterior

10 Recientemente, dado que los recursos energéticos de combustible se agotan cada vez más y la contaminación ambiental del aire es cada vez más grave, los vehículos respetuosos con el medio ambiente, por ejemplo, los vehículos eléctricos blade y los vehículos eléctricos híbridos han atraído mucha atención. Estos vehículos se equipan normalmente con un dispositivo de almacenamiento de energía (por ejemplo, una batería secundaria, una celda de combustible, un condensador, y similares), y utilizan la energía almacenada en el dispositivo de almacenamiento de energía para generar fuerza motriz de tracción para impulsar los vehículos para funcionar.

15 En estos vehículos, generalmente se utiliza un inversor para convertir la energía de CC del dispositivo de almacenamiento de energía en energía de CA para accionar una máquina eléctrica rotativa, como por ejemplo un motor generador. Además, cuando la fuerza motriz generada por la máquina eléctrica rotativa se utiliza para impulsar un vehículo, la fuerza de frenado de las ruedas motrices del vehículo, el motor y similares se puede convertir en energía eléctrica para cargar el dispositivo de almacenamiento de energía durante el frenado regenerativo.

20 Sin embargo, lo más probable es que el inversor sufra un fallo en el sistema motriz del vehículo eléctrico. Un fallo común del inversor es un fallo de circuito abierto que se produce en un transistor del inversor. Es bien sabido que un motor a alta velocidad, como por ejemplo un motor de imanes permanentes, provocará una fuerza contraelectromotriz excesivamente alta cuando se averíe el inversor. En este caso, se producirá un pico de corriente y una elevada ondulación del par en el lado del estator del motor.

25 Uno de los métodos de control de vehículos existentes suele detener el inversor directamente cuando éste falla. Sin embargo, si se detiene el inversor, el dispositivo de almacenamiento de energía no puede proporcionar fuerza motriz a la máquina eléctrica rotativa por medio del inversor. En consecuencia, en un vehículo eléctrico que pierde la fuerza motriz de una máquina eléctrica rotativa, el vehículo sólo puede funcionar por inercia, y cuando el funcionamiento por inercia se completa y el vehículo se detiene, el vehículo no se puede impulsar por su propia energía. Como resultado, es posible que se produzcan atascos de tráfico porque el vehículo no puede circular por la carretera, o el vehículo no puede llegar a un lugar de reparación, sino que tiene que utilizar un remolque.

30 Otro método existente de control de vehículos consiste en utilizar un brazo o circuito de fase redundante con el fin de puentear el brazo de fase averiado en el inversor después de que éste falle, y utilizar directamente el brazo o circuito de fase redundante. Sin embargo, esto aumentará inevitablemente los costes del producto. Otro antecedente es el documento EP 2 048 774 A2, que hace referencia a un sistema eléctrico rotativo con devanados polifásicos conectados en estrella. Un modo de accionamiento de media onda permite a un controlador accionar cualquiera de un elemento de conmutación del lado de alta y un elemento de conmutación del lado de baja por fase de los devanados polifásicos del estator.

35 Por consiguiente, es necesario proporcionar un método de control mejorado para un vehículo para resolver al menos uno de los problemas descritos anteriormente.

Sumario

40 Un aspecto de la presente invención proporciona un vehículo de acuerdo con la reivindicación 1. Otro aspecto de la presente invención proporciona un método de control de un vehículo de acuerdo con la reivindicación 9. Otras características preferidas se definen en las reivindicaciones dependientes.

Breve descripción de los dibujos

Estas y otras características, aspectos y ventajas de la presente descripción se entenderán mejor cuando la siguiente descripción detallada se lea con referencia a los dibujos adjuntos, en los que se utilizan números de referencia similares en todos los dibujos para hacer referencia a partes similares, donde:

45 La FIG. 1 es un diagrama esquemático de bloques de un sistema de accionamiento de una máquina eléctrica de un vehículo de acuerdo con un ejemplo específico de la presente descripción;

La FIG. 2 es un diagrama esquemático en el que se produce un fallo de circuito abierto en uno de los transistores de un inversor mostrado en la FIG. 1;

La FIG. 3 es un diagrama esquemático en el que se produce un fallo tanto en uno de los transistores como en un diodo conectado al transistor en antiparalelo en un inversor mostrado en la FIG. 1;

La FIG. 4 es un diagrama esquemático de bloques de un controlador de un vehículo mostrado en FIG. 1;

5 La FIG. 5 es un diagrama esquemático de un módulo de regulación de ancho de banda de corriente en un controlador mostrado en FIG. 4;

La FIG. 6 es un diagrama de flujo esquemático de un método de control de un vehículo de acuerdo con un ejemplo específico de la presente descripción; y

La FIG. 7 muestra las etapas para mantener el control de un transistor en buen estado mostrado en la FIG. 6.

Ejemplos preferidos

10 Los ejemplos específicos de la presente descripción se describirán en detalle a continuación con referencia a los dibujos adjuntos, con el fin de facilitar a los expertos en la técnica la plena comprensión de la materia de estudio de la presente descripción. En la siguiente descripción detallada de estos ejemplos específicos, la presente memoria descriptiva no describe en detalle ninguna de las funciones o configuraciones conocidas, para evitar detalles innecesarios que puedan afectar a la descripción de la presente materia de estudio.

15 A menos que se defina lo contrario, los términos técnicos y científicos utilizados en las reivindicaciones y en la memoria descriptiva son los que suelen entender los expertos en la técnica a la que hace referencia la presente descripción. Los términos "primero", "segundo" y similares utilizados en la memoria descriptiva y en las reivindicaciones no indican ningún consigna, cantidad o importancia, sino que simplemente pretenden distinguir entre diferentes componentes. Los términos "uno", "una" y similares no pretenden ser restrictivos, sino que indican la presencia de al menos uno. Los términos "que comprende", "que consiste en" y similares significan que los elementos o artículos que aparecen antes de "que comprende" o "que consiste en" incluyen los elementos o artículos y sus equivalentes que aparecen detrás de "que comprende" o "que consiste en", sin excluir ningún otro elemento o artículo. "Conectado", "acoplado" y palabras similares no se limitan a conexiones físicas o mecánicas, sino que también pueden incluir conexiones eléctricas, ya sean directas o indirectas.

25 La FIG. 1 muestra un diagrama de bloques esquemático de un sistema de accionamiento de una máquina eléctrica de un vehículo de acuerdo con un ejemplo específico de la presente descripción. Según se muestra en la FIG. 1, el vehículo incluye una máquina eléctrica de CA 1 configurada para generar fuerza motriz de tracción. El vehículo puede incluir, entre otros, un vehículo eléctrico, un vehículo eléctrico híbrido y similares. La máquina eléctrica de CA 1 puede incluir, por ejemplo, un motor interior de imanes permanentes (IPM) o un motor de inducción (IM). En la presente descripción, el IPM se muestra a modo de ejemplo. La máquina eléctrica de CA 1 puede ser, por ejemplo, un motor de CA trifásico.

30 El vehículo incluye además un bus de CC (bus de CC, en este ejemplo específico de la presente descripción, se muestra una batería 2 como ejemplo ilustrativo) configurado para proporcionar una tensión de CC U_{cc} , un inversor 3, y un controlador 4. El inversor 3 se acopla a la batería 2 y se configura para convertir la tensión de CC (corriente continua) de la batería 2 en una tensión de CA (corriente alterna) para accionar la máquina eléctrica de CA 1. Un condensador C se conecta en paralelo entre la batería 2 y el inversor 3.

35 El inversor 3 incluye varios transistores. El inversor 3 puede ser, por ejemplo, un inversor trifásico e incluye tres brazos de puente 31, 32 y 33. Cada brazo de puente tiene dos transistores en serie y dos diodos, y cada transistor se conecta en antiparalelo con un diodo. Por ejemplo, el brazo de puente 31 incluye dos transistores Q_{11} , Q_{12} en serie y dos diodos D_{11} , D_{12} conectados en antiparalelo con los transistores Q_{11} , Q_{12} ; el brazo de puente 32 incluye dos transistores Q_{21} , Q_{22} en serie y dos diodos D_{21} , D_{22} conectados en antiparalelo con los 25 transistores Q_{21} , Q_{22} ; el brazo de puente 33 incluye dos transistores Q_{31} , Q_{32} en serie y dos diodos D_{31} , D_{32} conectados en antiparalelo con los transistores Q_{31} , Q_{32} . Cada fase de la máquina eléctrica trifásica 1 se conecta a puntos de conexión de dos transistores en serie en uno de los brazos de puente 31, 32 y 33 del inversor 3.

45 Durante la marcha del vehículo, cuando se produce un fallo de circuito abierto en uno de los transistores del inversor 3, el controlador 4 puede controlar el inversor 3 para mantener la fuerza motriz del vehículo de una manera tolerante a fallos, con el fin de controlar el vehículo para que sea accionado en un modo de este tipo como el modo limp-home o similar. El caso en el que se produce un fallo de circuito abierto en uno de los transistores del inversor 3 mencionado en la presente descripción incluye al menos: un fallo de circuito abierto en un solo transistor (por ejemplo, el transistor Q_{11}) del inversor 3 mostrado en la FIG. 2, y un fallo de circuito abierto en uno de los transistores (por ejemplo, el transistor Q_{11}) y un diodo (por ejemplo, el diodo D_{11}) conectado al transistor en antiparalelo.

50 Continuando con la FIG. 1, si la velocidad del vehículo medida V_{act} es superior a un umbral de velocidad predeterminado V_{th} , el controlador 4 de la presente descripción elimina una señal de controlador de puerta proporcionada a todos los transistores del inversor 3. En este caso, el vehículo sólo puede frenar regenerativamente, y el vehículo puede reducir la velocidad del vehículo mediante conducción por inercia o frenado regenerativo. Cuando el controlador 4 elimina la señal del controlador de puerta en todos los transistores, el inversor 3 actúa como un

rectificador de diodos. Cuando el diodo está en estado ON, una batería 1 se conecta a un estator de la máquina eléctrica de CA 1. Dado que se reduce la caída de tensión del estátor de la máquina eléctrica de CA 1, la tensión de CC U_{cc} proporcionada por la batería 1 puede reducir el efecto de la fuerza contraelectromotriz de la máquina eléctrica de CA 1 sobre la corriente del estátor de la máquina eléctrica de CA 1, y se puede reducir la sobrecarga de corriente en el estátor de la máquina eléctrica de CA 1.

A medida que la velocidad del vehículo V_{act} disminuye debido a la conducción por inercia o al frenado regenerativo del vehículo, si la velocidad del vehículo medida V_{act} disminuye hasta ser inferior al umbral de velocidad predeterminado V_{th} , el controlador 4 de la presente descripción mantiene el control de los transistores en buen estado Q_{12} , Q_{21} , Q_{22} , Q_{31} y Q_{32} . Una velocidad real del vehículo V_{act} se puede obtener de acuerdo con una velocidad de rotación V_{motor} de la máquina eléctrica de CA 1. Por ejemplo, la velocidad de rotación V_{motor} de la máquina eléctrica de CA 1 se puede medir mediante un detector de velocidad (no mostrado), y la velocidad de rotación V_{motor} de la máquina eléctrica de CA 1 se transfiere al controlador 4, y el controlador 4 puede calcular la velocidad real actual del vehículo V_{act} en función de la velocidad de rotación V_{motor} de la máquina eléctrica de CA 1. El umbral de velocidad predeterminado V_{th} es relevante para la tensión de CC U_{cc} proporcionada por la batería 2. El umbral de velocidad predeterminado V_{th} es función de la tensión de CC U_{cc} proporcionada por la batería 2, y el umbral de velocidad predeterminado V_{th} es directamente proporcional a la tensión de CC U_{cc} proporcionada por la batería 2. Cuando la tensión de CC U_{cc} proporcionado por la batería 2 es relativamente grande, el umbral de velocidad predeterminado V_{th} también se establece para que sea relativamente alto; y cuando la tensión de CC U_{cc} proporcionado por la batería 2 es relativamente pequeño, el umbral de velocidad predeterminado V_{th} se establece en consecuencia para que sea relativamente bajo.

La forma en que el controlador 4 de la presente descripción mantiene el control de los transistores en buen estado Q_{12} , Q_{21} , Q_{22} , Q_{31} y Q_{32} cuando la velocidad del vehículo medida V_{act} disminuye hasta ser inferior al umbral de velocidad predeterminado V_{th} se describirá en detalle a continuación con referencia a las FIG. 1, 4 y 5.

La FIG. 4 es un diagrama de bloques esquemático del controlador 4 del vehículo de la presente descripción. Según se muestra en la FIG. 4, el controlador 4 puede incluir un regulador de velocidad 41, un regulador de par 42 y un regulador de corriente 43.

El regulador de velocidad 41 puede recibir la velocidad del vehículo real medida V_{act} y una velocidad del vehículo objetivo $V_{objetivo}$, y generar una consigna de par T_{cmd} de la máquina eléctrica de CA 1 en función de la velocidad real del vehículo V_{act} y la velocidad del vehículo objetivo $V_{objetivo}$. El regulador de velocidad 41 puede incluir, por ejemplo, entre otros, un regulador proporcional integral (PI), y el regulador de velocidad 41 calcula la consigna de par T_{cmd} de la máquina eléctrica de CA 1 de acuerdo con la siguiente fórmula (1).

$$T_{cmd} = (K_{p1} + \frac{K_{i1}}{s}) \times \Delta V = (K_{p1} + \frac{K_{i1}}{s}) \times (V_{objetivo} - V_{act}) \quad (1)$$

En la fórmula (1), K_{p1} y K_{i1} son la proporción y el coeficiente integral, respectivamente.

El regulador de par 42 puede recibir la consigna de par T_{cmd} de la máquina eléctrica de CA 1 desde el regulador de velocidad 41 y recibir un par real T_{act} . El par real T_{act} de la máquina eléctrica de CA 1 se puede obtener de acuerdo con la corriente real I_{act} del estator de la máquina eléctrica de CA 1. Por ejemplo, la corriente real I_{act} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 se puede medir en primer lugar mediante un dispositivo de medición de corriente (no mostrado), y a continuación la corriente real I_{act} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 se transmite al controlador 4, y el controlador 4 puede calcular el par real T_{act} en función de la corriente real I_{act} del estator de la máquina eléctrica de CA 1. El regulador de par 42 puede generar la consigna de corriente I_{cmd} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 en función de la consigna de par T_{cmd} y el par real T_{act} de la máquina eléctrica de CA 1. El regulador de par 42 puede incluir, entre otros, por ejemplo, un regulador proporcional integral (PI), y el regulador de par 42 calcula la consigna de corriente I_{cmd} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 de acuerdo con la siguiente fórmula (2).

$$I_{cmd} = (K_{p2} + \frac{K_{i2}}{s}) \times \Delta T = (K_{p2} + \frac{K_{i2}}{s}) \times (T_{cmd} - T_{act}) \quad (2)$$

En la fórmula (2), K_{p2} y K_{i2} son la proporción y el coeficiente integral, respectivamente.

El regulador de corriente 43 puede recibir la consigna de corriente I_{cmd} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 del regulador de par 42 y recibir la corriente real I_{act} del estator y generar una consigna de tensión U_{cmd} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 en función de la consigna de corriente I_{cmd} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 y la corriente real I_{act} del estator. El regulador de corriente 43 puede incluir, entre otros, por ejemplo, un regulador proporcional integral (PI), y el regulador de corriente 43 calcula la consigna de tensión U_{cmd} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 de acuerdo con la siguiente fórmula

$$U_{cmd} = (K_{p3} + \frac{K_{i3}}{s}) \times \Delta I = (K_{p3} + \frac{K_{i3}}{s}) \times (I_{cmd} - I_{act}) \quad (3)$$

En la fórmula (3), K_{p3} y K_{i3} son la proporción y el coeficiente integral, respectivamente.

El controlador 4 controla los transistores en buen estado Q_{12} , Q_{21} , Q_{22} , Q_{31} y Q_{32} del inversor 3 en función de la consigna de tensión U_{cmd} del estator de la máquina eléctrica de CA 1.

Con referencia de nuevo a la FIG. 1, el vehículo incluye además un controlador de puerta 5. El controlador de puerta 5 se conecta a todos los transistores del inversor 3 y está en comunicación con el controlador 4, y el controlador 4 puede controlar el controlador de puerta 5. El controlador 4 envía la consigna de tensión generada U_{cmd} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 al controlador de puerta 5. El controlador de puerta 5 genera una señal de modulación de ancho de pulso S_{PWM} de acuerdo con la consigna de tensión U_{cmd} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 y, a continuación, la señal de modulación de ancho de pulso S_{PWM} se envía como una señal de controlador de puerta a los transistores en buen estado Q_{12} , Q_{21} , Q_{22} , Q_{31} y Q_{32} en el inversor 3. Los transistores en buen estado Q_{12} , Q_{21} , Q_{22} , Q_{31} y Q_{32} llevan a cabo las correspondientes operaciones de conexión y desconexión de acuerdo con la señal de modulación de ancho de pulso recibida S_{PWM} .

En un ejemplo específico de la presente descripción, con referencia continua a la FIG. 4, el controlador 4 de la presente descripción puede incluir además un módulo de regulación de ancho de banda de corriente 44. El módulo de regulación de ancho de banda de corriente 44 puede recibir la corriente real I_{act} del estator y la consigna de corriente I_{cmd} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 del regulador de par 42 y generar un ancho de banda de corriente adaptativo I_{bw} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 de acuerdo con la consigna de corriente I_{cmd} y la corriente real I_{act} del estator de la máquina eléctrica de CA 1. En un ejemplo específico en el que el controlador 4 incluye un módulo de regulación de ancho de banda de corriente 44, el regulador de corriente 44 puede recibir la corriente real I_{act} del estator y la consigna de corriente I_{cmd} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 generada desde el regulador de par 42, el regulador de corriente 44 puede recibir además el ancho de banda de corriente adaptativo I_{bw} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 generada por el módulo de regulación de ancho de banda de corriente 44 y, a continuación, el regulador de corriente 44 puede generar la consigna de tensión U_{cmd} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 en función de la consigna de corriente I_{cmd} y la corriente real I_{act} del estator de la máquina eléctrica de CA 1, y el ancho de banda de corriente adaptativo I_{bw} .

La FIG. 5 muestra un diagrama esquemático del módulo de regulación de ancho de banda de corriente 44. Según se muestra en la FIG. 5, el módulo de regulación de ancho de banda de corriente 44 puede incluir un sustractor 441. El sustractor 441 recibe la corriente real I_{act} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 y la consigna de corriente I_{cmd} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 generada por el regulador de par 42, y calcula una diferencia de corriente ΔI entre la consigna de corriente I_{cmd} y la corriente real I_{act} del estator de la máquina eléctrica de CA 1. Esto se muestra en la siguiente fórmula (4).

$$\Delta I = I_{cmd} - I_{act} \quad (4)$$

Cuando la diferencia de corriente ΔI entre la consigna de corriente I_{cmd} y la corriente real I_{act} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 es superior a un valor de fluctuación de corriente preestablecido (por ejemplo, un primer valor de fluctuación de corriente ΔI_x mostrado en la FIG. 5), el módulo de regulación de ancho de banda de corriente 44 puede reducir un ancho de banda de corriente del estator de la máquina eléctrica de CA 1 y utilizar el ancho de banda de corriente reducido del estator de la máquina eléctrica de CA 1 como el ancho de banda de corriente adaptativo I_{bw} generado del estator.

Un primer ancho de banda de corriente I_{bw1} , un segundo ancho de banda de corriente I_{bw2} , un primer valor de fluctuación de corriente ΔI_1 y un segundo valor de fluctuación de corriente ΔI_2 se preestablecen en el módulo de regulación de ancho de banda de corriente 44, siendo el primer ancho de banda de corriente I_{bw1} mayor que el segundo ancho de banda de corriente I_{bw2} , y el primer valor de fluctuación de corriente ΔI_1 menor que el segundo valor de fluctuación de corriente ΔI_2 . A modo de ejemplo, en el módulo de regulación de ancho de banda de corriente 44 se preestablece una curva de relación 442 entre el ancho de banda de corriente y el valor de fluctuación de corriente. El primer ancho de banda de corriente I_{bw1} , el segundo ancho de banda de corriente I_{bw2} , el primer valor de fluctuación de corriente ΔI_1 , y el segundo valor de fluctuación de corriente ΔI_2 se pueden determinar de acuerdo con la curva de relación 442 entre el ancho de banda de corriente y el valor de fluctuación de corriente. El módulo de regulación de ancho de banda de corriente 44 puede determinar el ancho de banda de corriente adaptativo I_{bw} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 de acuerdo con la diferencia de corriente calculada ΔI con referencia a la curva de relación 442 entre el ancho de banda de corriente y el valor de fluctuación de corriente.

En concreto, cuando la diferencia de corriente ΔI entre la consigna de corriente I_{cmd} y la corriente real I_{act} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 es inferior al primer valor de fluctuación de corriente ΔI_1 , el ancho de banda de corriente adaptativo I_{bw} generado por el módulo de regulación de ancho de banda de corriente 44 es igual al primer ancho de banda de corriente I_{bw1} . Esto se muestra en la siguiente fórmula (5).

$$I_{bw} = I_{bw1} \quad (\Delta I < \Delta I_1) \quad (5)$$

Cuando la diferencia de corriente ΔI entre la consigna de corriente I_{cmd} y la corriente real I_{act} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 se encuentra entre el primer valor de fluctuación de corriente ΔI_1 y el segundo valor de fluctuación de corriente ΔI_2 , el ancho de banda de corriente adaptativo I_{bw} generado por el módulo de regulación de ancho de

banda de corriente 44 se encuentra entre el primer ancho de banda de corriente I_{bw1} y el segundo ancho de banda de corriente I_{bw2} . Esto se muestra específicamente en la siguiente fórmula (6).

$$I_{bw} = I_{bw1} + \frac{I_{bw2} - I_{bw1}}{\Delta I_2 - \Delta I_1} \times (\Delta I - \Delta I_1) \quad (\Delta I_1 < \Delta I < \Delta I_2) \quad (6)$$

5 Cuando la diferencia de corriente ΔI entre la consigna de corriente I_{cmd} y la corriente real I_{act} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 es superior al segundo valor de fluctuación de corriente ΔI_2 , el ancho de banda de corriente adaptativo I_{bw} generado por el módulo de regulación del ancho de banda de corriente 44 es igual al segundo ancho de banda de corriente I_{bw2} . Esto se muestra en la siguiente fórmula (7).

$$I_{bw} = I_{bw2} \quad (\Delta I \geq \Delta I_2) \quad (7)$$

10 El regulador de corriente 43 puede ajustar el coeficiente proporcional e integral K_{p3} , y K_{i3} en la fórmula anterior (3) de acuerdo con el ancho de banda de corriente adaptativo I_{bw} generado por el módulo de regulación del ancho de banda de corriente 44, y generar la correspondiente consigna de tensión U_{cmd} del estator de acuerdo con la diferencia de corriente ΔI entre la consigna de corriente I_{cmd} y la corriente real I_{act} del estator de la máquina eléctrica de CA 1, con el fin de reducir la ondulación del par de la máquina eléctrica de CA 1.

15 Cuando se produce un fallo en el inversor 3, el vehículo de la presente descripción puede realizar un control tolerante a fallos apropiado de los transistores en el inversor 3 de acuerdo con una velocidad real actual V_{act} del vehículo. Por consiguiente, el vehículo de la presente descripción se puede impulsar por su propia fuerza motriz a un punto de mantenimiento del vehículo sin la ayuda de un remolque, reduciendo de este modo los costes de mantenimiento del vehículo.

20 Además, cuando se produce un fallo en el inversor 3, por medio de un control tolerante a fallos adecuado del inversor 3 por parte del controlador 4 de la presente descripción, el vehículo de la presente descripción puede evitar que se genere una corriente elevada en el lado del estator de la máquina eléctrica de CA 1 cuando se produce un fallo en el inversor 3, reduciendo la sobrecarga de corriente en el lado del estator. Además, el vehículo de la presente descripción puede reducir la ondulación de par de la máquina eléctrica de CA 1 cuando se produce un fallo en el inversor 3.

25 La presente descripción proporciona además un método de control de un vehículo. La FIG. 6 muestra un diagrama de flujo esquemático de un método de control de un vehículo de acuerdo con un ejemplo específico de la presente descripción. El método de control de un vehículo puede incluir las siguientes etapas.

Según se muestra en la FIG. 6, en la etapa B1, por ejemplo, una tensión de CC U_{cc} puede ser proporcionado por una batería 2.

30 En la etapa B2, el inversor 3 puede convertir la tensión de CC U_{cc} en una tensión de CA para accionar la máquina eléctrica de CA 1, por ejemplo, una IPM.

En la etapa B3, la máquina eléctrica de CA 1 puede generar fuerza de accionamiento de tracción para impulsar el vehículo.

35 En la etapa B4, se monitoriza si se produce un fallo de circuito abierto en alguno de los transistores del inversor 3 durante la marcha del vehículo. Cuando se produce un fallo de circuito abierto en alguno (por ejemplo, el transistor Q_n) de los transistores del inversor 3, el proceso puede continuar a la etapa B5.

40 En la etapa B5, el inversor 3 se puede controlar mediante el controlador 4 para mantener el accionamiento del vehículo en un modo tolerante a fallos. En concreto, en la etapa B51, se controla si la velocidad del vehículo real medida V_{act} es superior a un umbral de velocidad predeterminado V_{th} . Cuando la velocidad del vehículo real medida V_{act} es superior al umbral de velocidad predeterminado V_{th} , el proceso puede continuar a la etapa B52. Cuando la velocidad del vehículo real medida V_{act} es inferior al umbral de velocidad predeterminado V_{th} , el proceso puede continuar a la etapa B53.

En la etapa B52, cuando la velocidad del vehículo medida V_{act} es superior al umbral de velocidad predeterminado V_{th} , el controlador 4 se utiliza para eliminar una señal del controlador de puerta proporcionada a todos los transistores del inversor 3.

45 En la etapa B53, cuando la velocidad del vehículo medida V_{act} es inferior al umbral de velocidad predeterminado V_{th} , el controlador 4 se utiliza para mantener el control de los transistores en buen estado (Q_{12} , Q_{21} , Q_{22} , Q_{31} y Q_{32}).

La forma en que el controlador 4 mantiene el control de los transistores en buen estado en la etapa B53 de la FIG. 6 se describirá en detalle a continuación con referencia a la FIG. 7.

50 Según se muestra en la FIG. 7, en la etapa B531, una consigna de par T_{cmd} de la máquina eléctrica de CA 1 se puede generar en función de la velocidad del vehículo medida V_{act} y la velocidad del vehículo objetivo $V_{objetivo}$, por ejemplo, según se muestra en la fórmula anterior (1).

En la etapa B532, la consigna de corriente I_{cmd} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 se puede generar en función de la consigna de par T_{cmd} de la máquina eléctrica de CA 1 y el par real T_{act} , según se muestra en la fórmula anterior (2).

5 En la etapa B533, la consigna de tensión U_{cmd} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 se puede generar en función de la consigna de corriente I_{cmd} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 y la corriente real I_{act} del estator, por ejemplo, según se muestra en la fórmula anterior (3). A continuación, el proceso puede continuar a la etapa B535.

10 La etapa B53 de mantenimiento de control de transistores en buen estado mostrada en la FIG. 6 puede incluir además la siguiente etapa B534. En la etapa B534, el ancho de banda de corriente adaptativo I_{bw} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 se puede generar en función de la consigna de corriente I_{cmd} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 y la corriente real I_{act} . En este caso, en la etapa B533, la consigna de tensión U_{cmd} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 se puede generar además en función del ancho de banda de corriente adaptativo I_{bw} del estator generado del estator en la etapa B534. La generación del ancho de banda de corriente adaptativo I_{bw} en la etapa B534 puede incluir: cuando la diferencia de corriente ΔI entre la consigna de corriente I_{cmd} y la corriente real I_{act} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 es superior a un valor de fluctuación de corriente preestablecido (por ejemplo, el primer valor de fluctuación de corriente ΔI_x mostrado en la FIG. 5), el ancho de banda de corriente del estator de la máquina eléctrica de CA 1 se reduce, y el ancho de banda de corriente reducido del estator de la máquina eléctrica de CA 1 se utiliza como el ancho de banda de corriente adaptativo I_{bw} generado del estator. La generación del ancho de banda de corriente adaptativo I_{bw} en la etapa B534 puede hacer referencia en concreto a las fórmulas anteriores (5) a (7). Los detalles no se describen en la presente memoria.

20 En la etapa B535, los transistores en buen estado en el inversor 3 se pueden controlar de acuerdo con la consigna de voltaje U_{cmd} del estator de la máquina eléctrica de CA 1. La etapa B535 puede incluir las siguientes etapas.

En la etapa B5351, la señal de modulación de ancho de pulso S_{PWM} se puede generar en función de la consigna de tensión U_{cmd} del estator de la máquina eléctrica de CA 1.

25 En la etapa B5352, la señal de modulación de ancho de pulso S_{PWM} se puede enviar a transistores en buen estado en el inversor 3, y los transistores en buen estado pueden llevar a cabo operaciones de encendido y apagado correspondientes de acuerdo con la señal de modulación de anchura de pulso S_{PWM} recibida.

30 En el método de control de la presente descripción, durante el funcionamiento normal del vehículo, el controlador 4 controla el controlador de puerta 5 para proporcionar una primera señal de controlador de puerta para encender los transistores del inversor 3 para generar una tensión de CA para impulsar el funcionamiento de la máquina eléctrica de CA 1. Cuando se produce un fallo en el vehículo (se produce un fallo de circuito abierto en uno de los transistores del inversor del vehículo en un ejemplo específico de la presente descripción), el controlador 4 controla, en respuesta al fallo de circuito abierto, el controlador de puerta 5 para eliminar la primera señal de controlador de puerta proporcionada a todos los transistores del inversor 3 cuando la velocidad del vehículo medida V_{act} es superior al umbral de velocidad predeterminado V_{th} , y controla el controlador de puerta 5 para proporcionar una segunda señal de controlador de puerta diferente para encender los transistores en buen estado del inversor 3 para generar una segunda tensión de CA diferente que sea suficiente para impulsar la máquina eléctrica de CA 1 para mover el vehículo cuando la velocidad del vehículo medida V_{act} sea inferior al umbral de velocidad predeterminado V_{th} .

40 En el método de control de la presente descripción, cuando se produce un fallo de circuito abierto en el inversor 3 del vehículo, se puede llevar a cabo un control tolerante a fallos adecuado de los transistores del inversor 3 en función de la velocidad real del vehículo V_{act} . Por consiguiente, el vehículo se puede impulsar por su propia fuerza motriz hasta un punto de mantenimiento del vehículo sin la ayuda de un remolque, reduciendo de este modo los costes de mantenimiento del vehículo.

45 Además, en el método de control de la presente descripción, cuando se produce un fallo de circuito abierto en el inversor 3 del vehículo, se lleva a cabo un control tolerante a fallos adecuado del inversor 3, con el fin de evitar que se genere una corriente elevada en el lado del estator de la máquina eléctrica de CA 1, reduciendo la sobrecarga de corriente en el lado del estator. Además, el método de control del vehículo de la presente descripción puede reducir aún más la ondulación de par de la máquina eléctrica 1 de CA.

50 Además, la tecnología de control tolerante a fallos de la presente descripción se puede aplicar no sólo a un vehículo sino también a una aplicación de campo distinta de un vehículo, como por ejemplo una máquina industrial impulsada por un motor. Por consiguiente, la presente descripción proporciona además un sistema. El sistema incluye una máquina eléctrica de CA 1 configurada para generar fuerza motriz, un bus de CC (por ejemplo, la batería 2 mostrada en los dibujos de la presente descripción) configurado para proporcionar una tensión de CC U_{cc} , un inversor 3 y un controlador 4. El inversor 3 se acopla a la batería 2 y se configura para convertir la tensión de CC de la batería 2 en una tensión de CA para accionar la máquina eléctrica de CA 1 y el inversor 3 incluye varios transistores. El controlador 4 se configura para controlar el inversor 3 para mantener la máquina eléctrica de CA 1 funcionando en un modo tolerante a fallos cuando se produce un fallo de circuito abierto en uno de los transistores del inversor 3 durante el funcionamiento de la máquina eléctrica de CA 1.

5 Teniendo en cuenta no sólo las aplicaciones para vehículos, sino también aplicaciones distintas de los vehículos, el controlador 4 puede utilizar una velocidad de rotación de la máquina eléctrica de CA 1 en lugar de una velocidad del vehículo como criterio de determinación. Por consiguiente, el controlador 4 se configura para eliminar una señal de controlador de puerta proporcionada a todos los transistores del inversor 3 si una velocidad de rotación de la máquina eléctrica de CA 1 es superior a un umbral de velocidad predeterminado, y mantener el control de los transistores en buen estado si la velocidad de rotación de la máquina eléctrica de CA 1 es inferior al umbral de velocidad predeterminado.

10 Del mismo modo, el controlador puede incluir un regulador de velocidad 41, un regulador de par 42 y un regulador de corriente 43. El regulador de velocidad 41 se configura para generar una consigna de par T_{cmd} de la máquina eléctrica de CA 1 en función de la velocidad de rotación y una velocidad de rotación objetivo de la máquina eléctrica de CA 1. El regulador de par 42 se configura para generar una consigna de corriente I_{cmd} de un estator de la máquina eléctrica de CA 1 en función de la consigna de par T_{cmd} y un par real T_{act} de la máquina eléctrica de CA 1. El regulador de corriente 43 se configura para generar una consigna de tensión U_{cmd} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 en función de la consigna de corriente I_{cmd} y una corriente real I_{act} del estator de la máquina eléctrica de CA 1. El controlador 4 controla los transistores en buen estado del inversor 3 en función de la consigna de tensión U_{cmd} del estator de la máquina eléctrica de CA 1.

20 Del mismo modo, el controlador puede incluir además un módulo de regulación de ancho de banda de corriente 44. El módulo de regulación de ancho de banda de corriente 44 genera un ancho de banda de corriente adaptativo I_{bw} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 en función de la consigna de corriente I_{cmd} y la corriente real I_{act} del estator de la máquina eléctrica de CA 1. En este caso, el regulador de corriente 43 se configura para generar la consigna de tensión U_{cmd} del estator de la máquina eléctrica de CA 1 en función de la consigna de corriente I_{cmd} y la corriente real I_{act} del estator de la máquina eléctrica de CA 1, y el ancho de banda de corriente adaptativo I_{bw} generado. La generación del ancho de banda de corriente adaptativo I_{bw} puede hacer referencia a la descripción anterior y los detalles ya no se describen en la presente memoria.

25 Cuando se produce un fallo en el inversor 3 del sistema, se puede llevar a cabo un control tolerante a fallos adecuado de los transistores del inversor 3 de acuerdo con una velocidad de rotación real de la máquina eléctrica de CA 1, con el fin de seguir manteniendo el funcionamiento de la máquina eléctrica de CA 1.

Cuando la tecnología de control tolerante a fallos de la presente descripción se aplica al campo de los vehículos, el vehículo puede incluir el sistema anterior, y la máquina eléctrica de CA es un motor de tracción de CA.

30 Aunque la presente descripción se ha descrito en detalle con referencia a ejemplos específicos de la misma, los expertos en la técnica entenderán que se puedan realizar muchas modificaciones y variaciones en la presente descripción. Por consiguiente, se debe entender que las reivindicaciones adjuntas pretenden cubrir todas dichas modificaciones y variaciones en la medida en que estén dentro del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un vehículo que comprende:
 - una máquina eléctrica de CA (1) configurada para generar fuerza motriz de tracción;
 - un bus de CC (2) configurado para proporcionar una tensión de CC;
 - un inversor (3) acoplado al bus de CC y configurado para convertir la tensión de CC del bus de CC en una tensión de CA para accionar la máquina eléctrica de CA, en donde el inversor comprende varios transistores; y
 - un controlador (4) configurado para:
 - controlar el inversor (3) para mantener el vehículo en marcha en un modo tolerante a fallos cuando se produce un fallo de circuito abierto en uno de los transistores en el inversor (3) durante la marcha del vehículo.
 - caracterizado por que el controlador (4) se configura además para eliminar una señal de controlador de puerta proporcionada a todos los transistores del inversor (3) si una velocidad del vehículo medida es superior a un umbral de velocidad predeterminado; y
 - mantener el control de los transistores en buen estado si la velocidad del vehículo medida es inferior al umbral de velocidad predeterminado.
2. El vehículo de la reivindicación 1, en donde la máquina eléctrica de CA es un motor de CA trifásico, y el inversor comprende tres brazos de puente (31, 32, 33), teniendo cada brazo de puente dos transistores en serie y dos diodos, y estando conectado cada transistor en antiparalelo con uno de los dos diodos.
3. El vehículo de la reivindicación 1, en donde el umbral de velocidad predeterminado está asociado a la tensión de CC proporcionada por el bus de CC (2).
4. El vehículo de la reivindicación 1, en donde el controlador (4) comprende:
 - un regulador de velocidad (41) configurado para generar una consigna de par de la máquina eléctrica de CA (1) en función de la velocidad del vehículo medida y en una velocidad del vehículo objetivo;
 - un regulador de par (42) configurado para generar una consigna de corriente de un estator de la máquina eléctrica de CA (1) en función de la consigna de par y un par real de la máquina eléctrica de CA; y
 - un regulador de corriente (43) configurado para generar una consigna de tensión del estator de la máquina eléctrica de CA (1) en función de la consigna de corriente y una corriente real del estator de la máquina eléctrica de CA (1), en donde el controlador (4) se configura para controlar los transistores en buen estado del inversor en función de la consigna de tensión del estator de la máquina eléctrica de CA.
5. El vehículo de la reivindicación 4, que comprende, además:
 - un controlador de puerta (5) acoplado los varios transistores del inversor (3) y configurado para estar en comunicación con el controlador, en donde el controlador (4) se configura para controlar el controlador de puerta (5) para generar una señal de modulación de ancho de pulso en función de la consigna de tensión del estator de la máquina eléctrica de CA (1), y la señal de modulación de ancho de pulso se envía como señal del controlador de puerta a los transistores en buen estado del inversor (3)
6. El vehículo de la reivindicación 4, en donde el controlador (4) comprende, además:
 - un módulo de regulación del ancho de banda de corriente (44) configurado para generar un ancho de banda de corriente adaptativo del estator de la máquina eléctrica de CA en función de la consigna de corriente y la corriente real del estator de la máquina eléctrica de CA (1), en donde el regulador de corriente (43) se configura para generar la consigna de tensión del estator de la máquina eléctrica de CA (1) en función de la consigna de corriente y la corriente real del estator de la máquina eléctrica de CA (1), y el ancho de banda de corriente adaptativo generado.
7. El vehículo de la reivindicación 6, en donde el módulo de regulación del ancho de banda de corriente (44) se configura para reducir un ancho de banda de corriente del estator de la máquina eléctrica de CA (1) cuando una diferencia de corriente entre la consigna de corriente y la corriente real del estator de la máquina eléctrica de CA (1) es superior a un valor de fluctuación de corriente preestablecido.
8. El vehículo de la reivindicación 6, en donde un primer ancho de banda de corriente, un segundo ancho de banda de corriente, un primer valor de fluctuación de corriente y un segundo valor de fluctuación de corriente están preestablecidos en el módulo de regulación del ancho de banda de corriente (44), siendo el primer ancho de banda

de corriente mayor que el segundo ancho de banda de corriente y el primer valor de fluctuación de corriente menor que el segundo valor de fluctuación de corriente, y en donde

5 cuando una diferencia de corriente entre la consigna de corriente y la corriente real del estator de la máquina eléctrica de CA (1) es inferior al primer valor de fluctuación de corriente, el ancho de banda de corriente adaptativo generado es igual al primer ancho de banda de corriente;

cuando la diferencia de corriente entre la consigna de corriente y la corriente real del estator de la máquina eléctrica de CA (1) es superior al segundo valor de fluctuación de corriente, el ancho de banda de corriente adaptativo generado es igual al segundo ancho de banda de corriente; y

10 cuando la diferencia de corriente entre la consigna de corriente y la corriente real del estator de la máquina eléctrica de CA (1) está entre los valores de fluctuación de corriente primero y segundo, el ancho de banda de corriente adaptativo generado está entre los anchos de banda de corriente primero y segundo.

9. Un método de control de un vehículo que comprende:

(B1) proporcionar una tensión de CC;

15 (B2) convertir, mediante un inversor (3) con varios transistores, la tensión de CC en una tensión de CA para accionar una máquina eléctrica de CA (1);

(B3) generar, mediante la máquina eléctrica de CA (1), fuerza motriz de tracción para impulsar el vehículo; y

(B5) controlar el inversor (3) para mantener el vehículo en marcha en un modo tolerante a fallos cuando se produce un fallo de circuito abierto en uno de los transistores del inversor durante la marcha del vehículo,

caracterizado por controlar el inversor comprende:

20 (B52) eliminar una señal de controlador de puerta proporcionada a todos los transistores del inversor (3) si una velocidad del vehículo medida es superior a un umbral de velocidad predeterminado; y

(B53) mantener el control de los transistores en buen estado si la velocidad del vehículo medida es inferior al umbral de velocidad predeterminado.

25 10. El método de control de la reivindicación 9, en donde el mantenimiento del control de los transistores en buen estado comprende:

(B531) generar una consigna de par de la máquina eléctrica de CA (1) en función de la velocidad del vehículo medida y en una velocidad del vehículo objetivo;

(B532) generar una consigna de corriente de un estator de la máquina eléctrica de CA (1) en función de la consigna de par y un par real de la máquina eléctrica de CA (1);

30 (B533) generar una consigna de tensión del estator de la máquina eléctrica de CA (1) en función de la consigna de corriente y una corriente real del estator de la máquina eléctrica de CA (1); y

(B535) controlar los transistores en buen estado del inversor en función de la consigna de tensión del estator de la máquina eléctrica de CA (1).

35 11. El método de control de la reivindicación 10, en donde el mantenimiento del control de los transistores en buen estado comprende, además:

(B534) generar un ancho de banda de corriente adaptativo del estator de la máquina eléctrica de CA (1) en función de la consigna de corriente y la corriente real del estator de la máquina eléctrica de CA, en donde la consigna de tensión del estator de la máquina eléctrica de CA (1) se genera además en función del ancho de banda de corriente adaptativo generado.

40 12. El método de control de la reivindicación 11, en donde la generación del ancho de banda de corriente adaptativo comprende:

reducir un ancho de banda de corriente del estator de la máquina eléctrica de CA (1) cuando una diferencia de corriente entre la consigna de corriente y la corriente real del estator de la máquina eléctrica de CA (1) es superior a un valor de fluctuación de corriente preestablecido.

45 13. El método de control de la reivindicación 9, en donde:

la conversión de la tensión de CC en tensión de CA para accionar la máquina eléctrica de CA (1) comprende controlar, mediante un controlador (4), un controlador de puerta (5) para proporcionar una primera señal de controlador de puerta para encender los transistores del inversor (3) a fin de generar la tensión de CA; y

5 el control del inversor (3) para mantener el vehículo en marcha en un modo tolerante a fallos comprende controlar, mediante el controlador (4), en respuesta al fallo de circuito abierto, el controlador de puerta (5) para eliminar la primera señal de controlador de puerta proporcionada a todos los transistores del inversor (3) si la velocidad del vehículo medida es superior al umbral de velocidad predeterminado; y controlar el controlador de puerta para que proporcione una segunda señal de controlador de puerta diferente para encender los transistores en buen estado del inversor para generar una segunda tensión de CA diferente que sea suficiente para accionar la máquina eléctrica de CA (1) para mover el vehículo si la velocidad del vehículo medida es inferior al umbral de velocidad predeterminado.

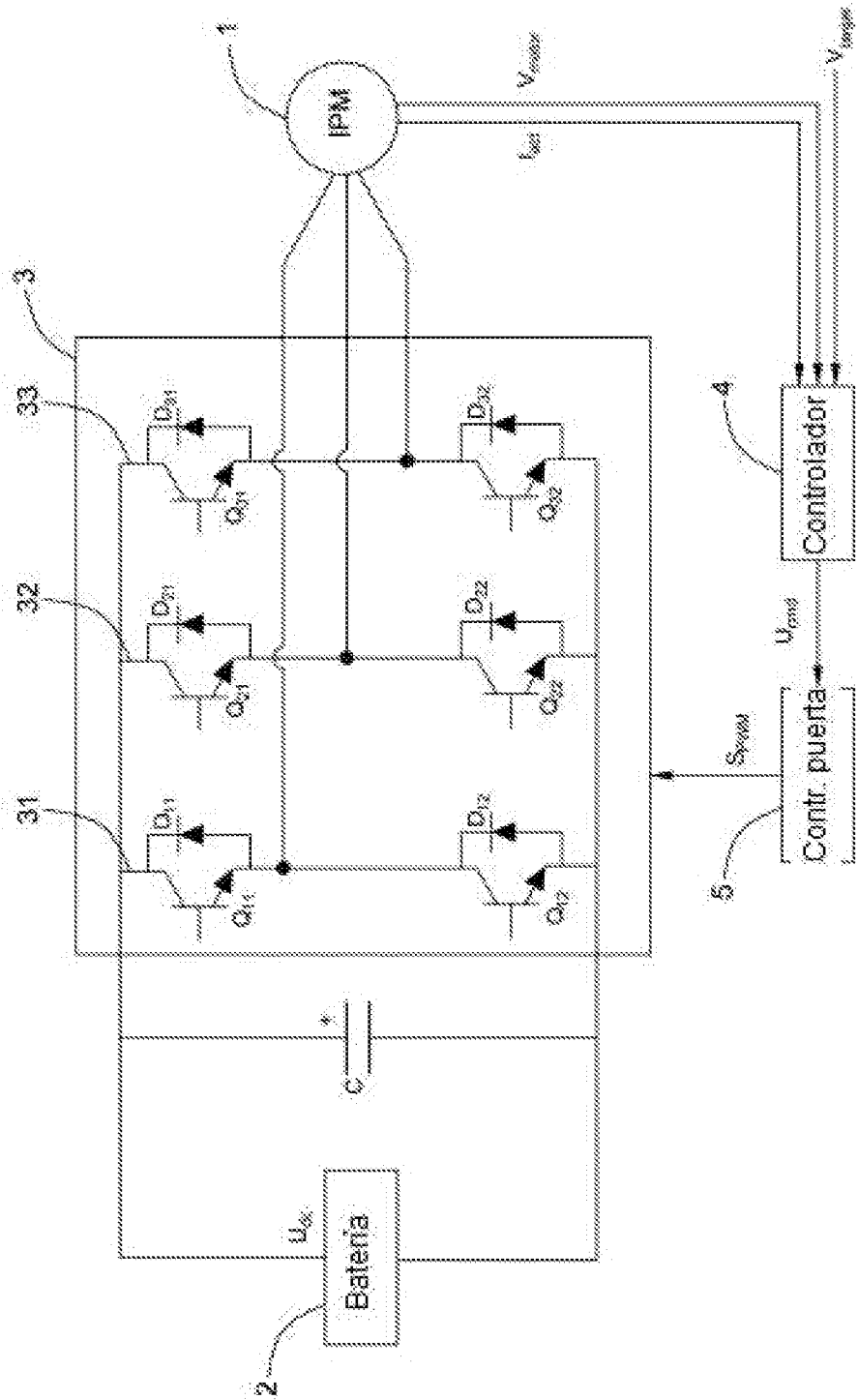


FIG. 1

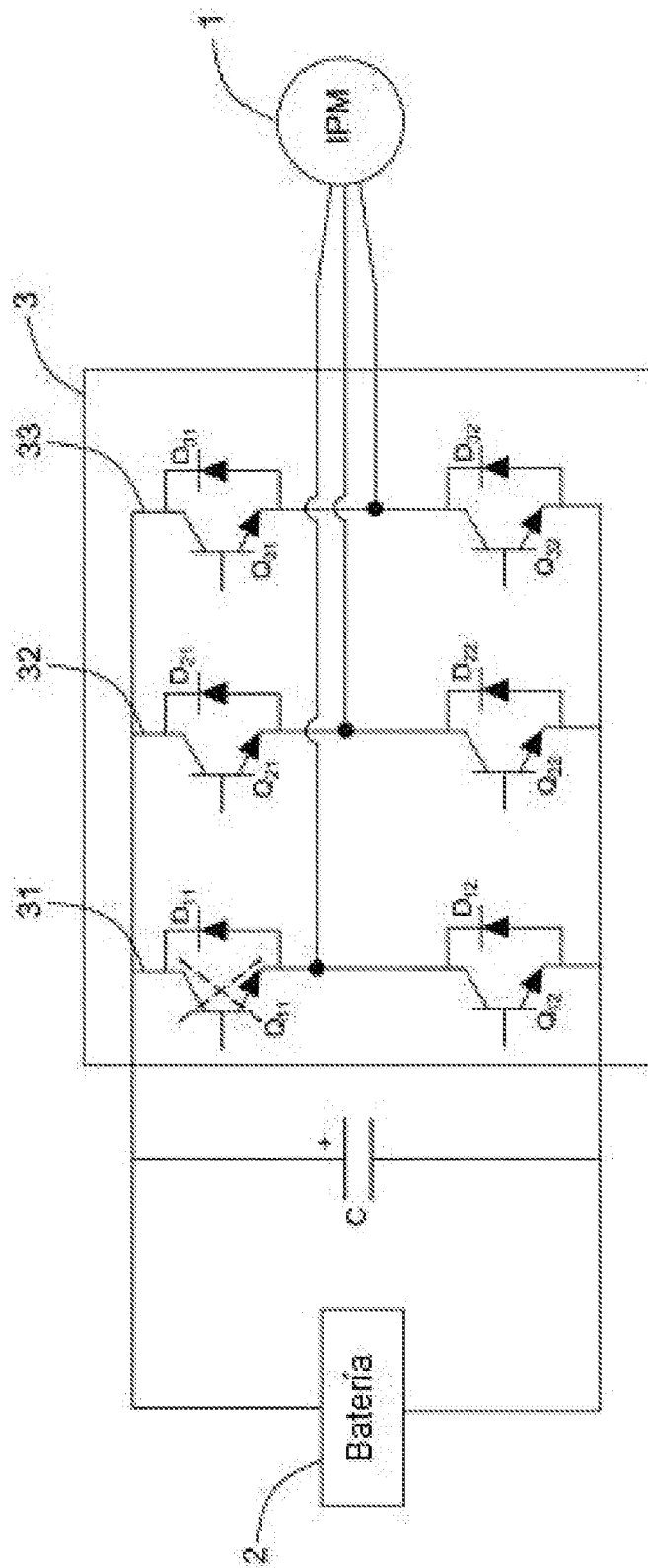


FIG. 2

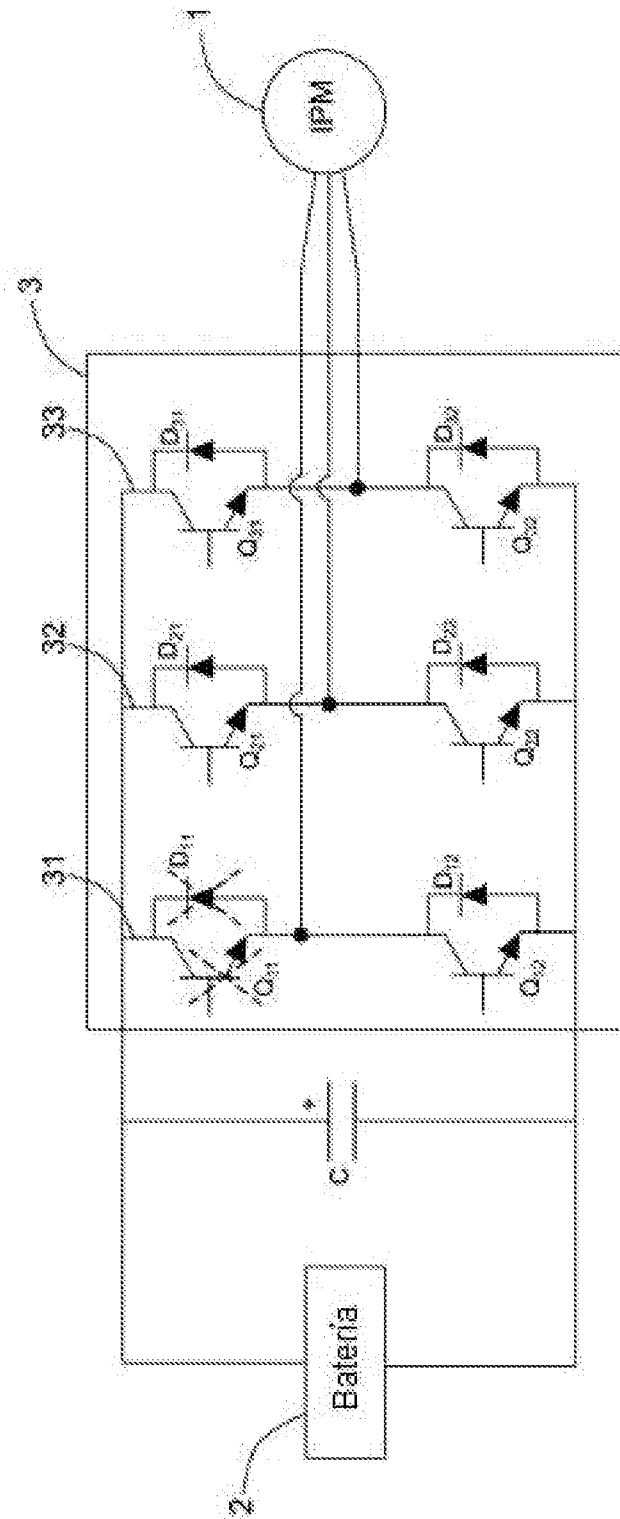


FIG. 3

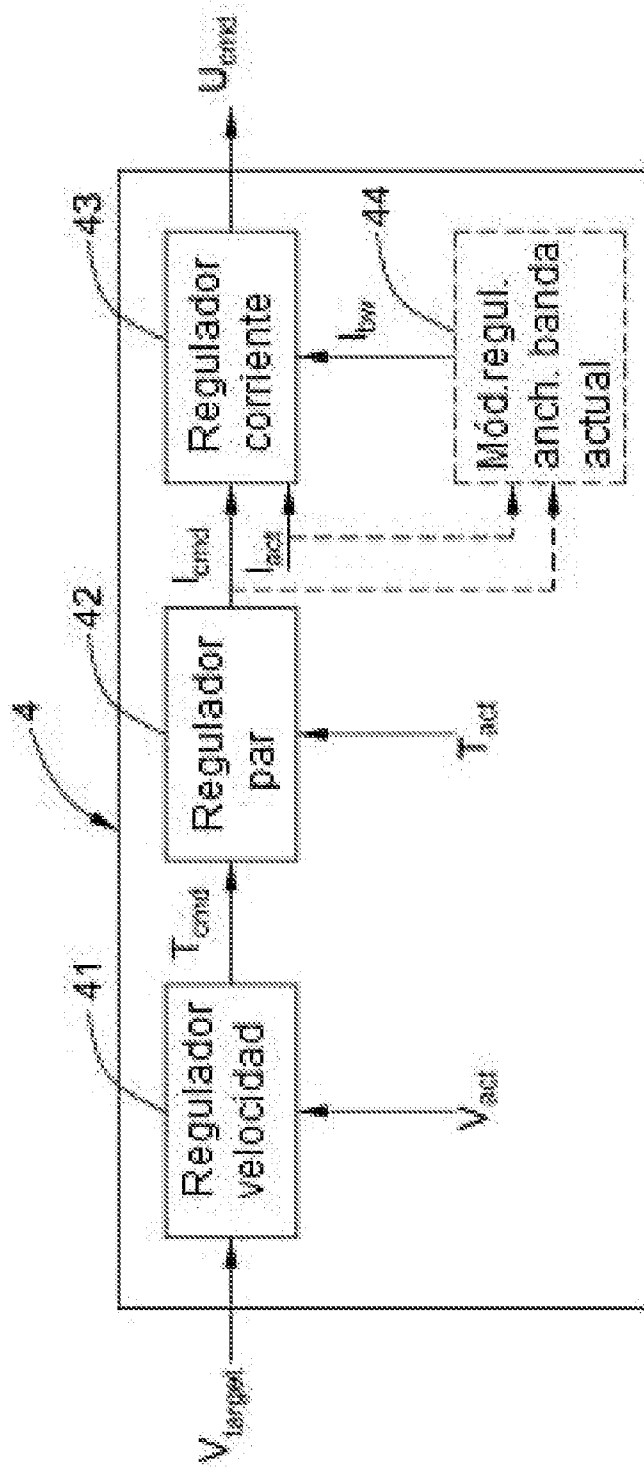


FIG. 4

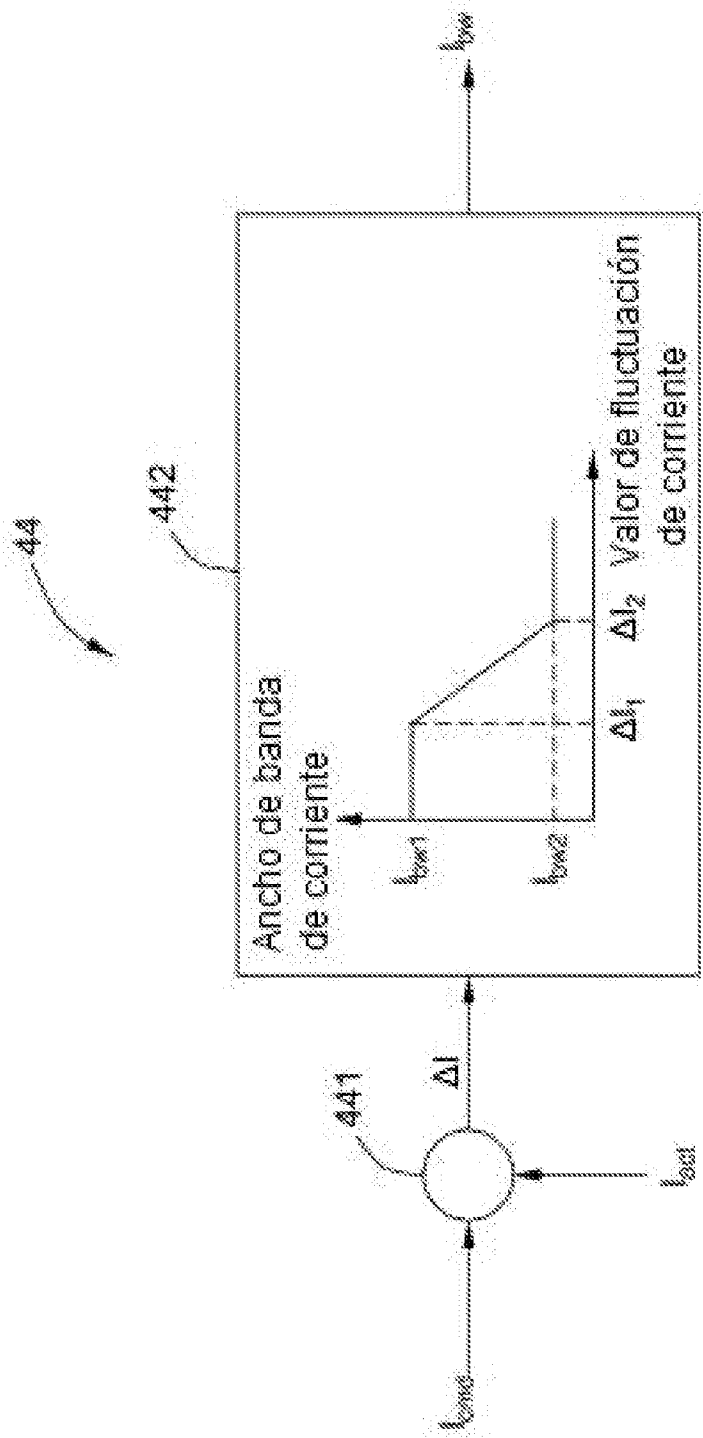


FIG. 5

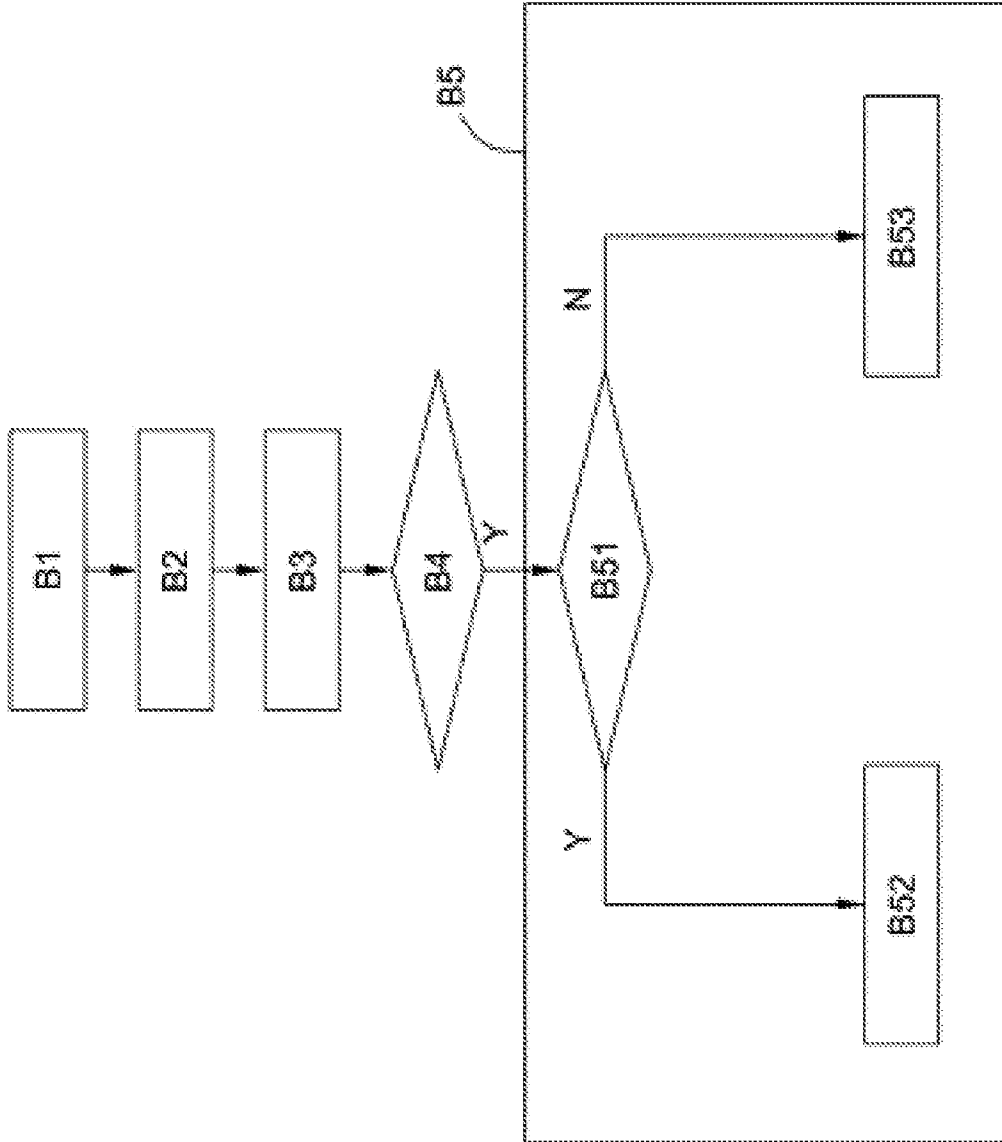


FIG. 6

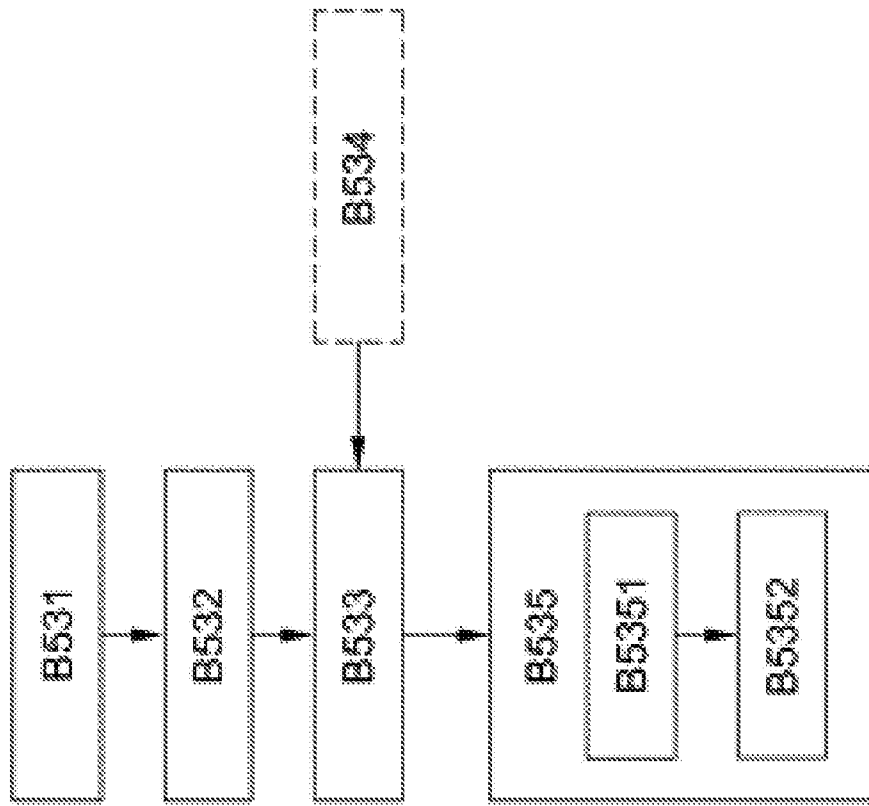


FIG. 7