

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 696 752**

51 Int. Cl.:

H02P 25/22 (2006.01)

H02P 23/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.06.2015 PCT/EP2015/062787**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.01.2016 WO16000916**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.06.2015 E 15727972 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.08.2018 EP 3164936**

54 Título: **Procedimiento para determinar las corrientes de fase de una máquina eléctrica con un convertidor de corriente**

30 Prioridad:

04.07.2014 DE 102014213077

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

17.01.2019

73 Titular/es:

**SEG AUTOMOTIVE GERMANY GMBH (100.0%)
Lotterbergstrasse 30
70499 Stuttgart, DE**

72 Inventor/es:

**MOTAGANAHALLI SRINIVASAMURTHY,
ARUNKUMAR y
ROESNER, JULIAN**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 696 752 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

Procedimiento para determinar las corrientes de fase de una máquina eléctrica con un convertidor de corriente

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para determinar las corrientes de fase de una máquina eléctrica con un convertidor de corriente así como a una unidad de cálculo y a un programa informático para llevarlo a cabo.

Estado de la técnica

10 Se conocen generadores para convertir energía mecánica en energía eléctrica. En vehículos de motor se usan, por regla general, generadores de polos intercalados. Estos pueden estar equipados con excitación eléctrica. Puesto que los generadores de polos intercalados generan corriente trifásica, para las redes de a bordo de tensión continua habituales en vehículos de motor se requiere una rectificación. Para ello se usan rectificadores con diodos semiconductores y/o elementos de conmutación activos.

15 Se conocen generadores que también pueden utilizarse en el accionamiento de vehículos (es decir que también pueden funcionar a motor) en el sector de los vehículos híbridos. El objetivo en este caso es respaldar al motor de combustión a números de revoluciones bajos, a los que este todavía no proporciona su par de giro total (modo potenciador, compensación del retraso en la respuesta del turbo (*turbolag*). Además, mediante un frenado eléctrico activo (modo generador), la energía cinética del vehículo puede realimentarse a la red de a bordo eléctrica (recuperación). Para el modo generador, el convertidor de corriente puede funcionar como rectificador activo, en el que se conmuta entre los conmutadores de lado alto y de lado bajo en función de la tensión de fase. Por ejemplo, los conmutadores de lado bajo se cierran cuando la tensión de fase es negativa, y los conmutadores de lado alto cuando la tensión de fase es mayor que la tensión de batería. Para controlar el momento de frenado activo con precisión es importante conocer las corrientes de fase.

20 La medición de las corrientes de fase puede realizarse a través de resistencias de medición, denominadas derivaciones. Por regla general, estas derivaciones no están directamente incorporadas en las fases del accionamiento, sino en una ramificación de lado bajo del convertidor de corriente. Una medición de corriente por cada fase individual con derivaciones de lado bajo se conoce en el sector del control de motores eléctricos. No obstante, en este caso, tal como se indica en los documentos DE 103 27 690 B4 o DE 10 2012 217 116 A1, la medición de corriente tiene que sincronizarse con el control. Esto es relativamente complejo. Además, en la rectificación activa resulta problemático que en ningún momento estén cerrados todos los conmutadores de lado bajo. Sin embargo, en el caso de las mediciones de corriente en la ramificación de lado bajo también pueden medirse con los conmutadores abiertos corrientes distintas de cero, por ejemplo debido a ruidos de medición, desfases de sensor, etc. Esto dificulta adicionalmente la evaluación.

30 Por lo tanto, es deseable indicar un procedimiento con el que también puedan determinarse en un modo de rectificación activa todas las corrientes de fase de la manera más sencilla posible.

40 Divulgación de la invención

45 De acuerdo con la invención se proponen un procedimiento para determinar las corrientes de fase de una máquina eléctrica con un convertidor de corriente así como una unidad de cálculo y un programa informático para llevarlo a cabo con las características de las reivindicaciones independientes. Configuraciones ventajosas son objeto en cada caso de las reivindicaciones dependientes así como de la descripción que sigue.

Ventajas de la invención

50 En el marco de la invención se propone una posibilidad para determinar todas las corrientes de fase de una máquina eléctrica con un número de fases mediante la medición esencialmente simultánea de todas las corrientes de ramificación de lado bajo y el cálculo de valores de medición. De todas las corrientes de ramificación de lado bajo medidas se recurre entonces a al menos dos y a menos del número de fases para el cálculo de las corrientes de fase. A este respecto se seleccionan las fases a las que va a recurrirse con ayuda del valor de medición, concretamente se recurre a las dos corrientes de ramificación de lado bajo medidas con la amplitud de mayor magnitud para el cálculo de las corrientes de fase. De este modo, el estado de conmutación actual en las ramificaciones individuales es irrelevante. Corrientes de ramificación de lado bajo "erróneas", que se miden debido a ruidos, desfases de sensor, etc., a pesar de que el correspondiente conmutador de lado bajo esté cerrado, son siempre de menor magnitud que las corrientes de ramificación de lado bajo "correctas", que fluyen por los conmutadores de lado bajo abiertos. Una sincronización de la medición con la secuencia de conmutación ya no es tampoco necesaria por el mismo motivo. Más bien puede tener lugar la medición de todas las corrientes de ramificación de lado bajo en cualquier momento e independientemente de los tiempos de conmutación del modo de rectificación activo. Convenientemente, todas las corrientes de ramificación de lado bajo se miden esencialmente al mismo tiempo. Esto puede realizarse en particular mediante un correspondiente número de conversiones AD en paralelo o por ejemplo mediante un multiplexor y conversiones AD en serie, siempre y cuando estas conversiones AD en serie se efectúen tan rápidamente que no

sean de esperar variaciones significativas de la corriente de fase durante las mismas. Convenientemente, las corrientes de ramificación de lado bajo se miden en una rejilla temporal regular.

5 La invención es adecuada para cualquier máquina polifásica con al menos cuatro fases. Las corrientes de fase pueden calcularse siempre a partir de un número adecuado de al menos dos y como máximo $N-1$, siendo N el número de fases, corrientes de ramificación de lado bajo, ya que se conocen las distancias angulares entre las fases para cada máquina. Una selección especialmente adecuada es la de las dos corrientes de ramificación de lado bajo de mayor magnitud. Esto se explica más detalladamente más abajo con el ejemplo de una máquina de cinco fases. La invención despliega ventajas especiales en el caso de máquinas con más de cuatro fases, ya que en estas el número de
10 corrientes de fase calculadas siempre es igual o mayor que el número de las dos corrientes de ramificación de lado bajo de mayor magnitud, es decir a partir de solo dos valores de medición válidos pueden calcularse todos los valores inválidos.

15 La invención es especialmente adecuada, de manera ventajosa, para su uso en técnicas de accionamiento híbridas o de recuperación, ya que en las mismas el hecho de conocer todas las corrientes de fase posibilita el ajuste preciso de un par de frenado activo.

20 Una unidad de cálculo de acuerdo con la invención, por ejemplo un aparato de control de un vehículo de motor, está configurada, en particular desde el punto de vista de la técnica de programación, para llevar a cabo un procedimiento de acuerdo con la invención.

25 También es ventajosa la implementación del procedimiento en forma de software, ya que esto da lugar a costes especialmente bajos, en particular cuando se utiliza un aparato de control de ejecución también para otras funciones y, por lo tanto, este está de todos modos presente. Soportes de datos adecuados para proporcionar el programa informático son, en particular, disquetes, discos duros, memorias *flash*, EEPROM, CD-ROM, DVD, entre otros. También es posible una descarga de un programa a través de redes informáticas (Internet, Intranet, etc.).

Otras ventajas y configuraciones de la invención se desprenden de la descripción y del dibujo adjunto.

30 Se entiende que las características anteriormente mencionadas y las que se explicarán todavía a continuación no solo pueden usarse en la combinación indicada en cada caso, sino también en otras combinaciones o por sí solas, sin salirse del marco de la presente invención.

35 La invención se representa esquemáticamente en el dibujo con ayuda de un ejemplo de realización/ejemplos de realización y se describe detalladamente a continuación haciendo referencia al dibujo.

Breve descripción de los dibujos

40 La figura 1 muestra una máquina eléctrica con un convertidor de corriente, tal como en el que puede basarse la invención, en representación esquemática.
La figura 2 muestra un esquema de control para una rectificación activa de una máquina eléctrica con un convertidor de corriente de acuerdo con la figura 1 en representación esquemática.

Forma(s) de realización de la invención

45 La figura 1 muestra los elementos esenciales para ilustrar la invención de una máquina eléctrica con un convertidor de corriente en representación muy simplificada, tal como puede formar parte de una red de a bordo de vehículo de motor. Entre estos se encuentra un estator 10 de cinco fases. El estator 10 de cinco fases presenta en total cinco arrollamientos de fase de estator (también denominados devanados de estator) 11 a 15. Un rotor no está representado por motivos de claridad.
50

55 El estator 10 de cinco fases está unido con sus cinco arrollamientos de fase de estator 11 a 15 a un convertidor de corriente 2, que presenta cinco puentes convertidores de corriente 21 a 25 con elementos de conmutación activos 2, 3, por ejemplo MOSFET, en tanto que conmutadores. Los cinco arrollamientos de fase de estator 11 a 15 o los cinco puentes convertidores de corriente 21 a 25 definen las cinco fases U a Y de la máquina eléctrica. El convertidor de corriente 2 puede funcionar como rectificador (normalmente en un modo generador de la máquina eléctrica para alimentar a la red de a bordo) o como inversor (normalmente en un modo motor de la máquina eléctrica).

60 Los elementos de conmutación activos 2, 3 están unidos a través de barras colectoras con los arrollamientos de fase de estator 11 a 15 por un lado y con conexiones de tensión continua 5, 6 por otro lado. Las conexiones de tensión continua 5, 6 pueden estar unidas con un acumulador de energía eléctrica en una red de a bordo, por ejemplo una batería 40. La conexión de tensión continua superior 5 está unida, a este respecto, con el polo positivo de la batería y la conexión de tensión continua inferior 6 con el polo negativo de la batería o a masa. Los elementos de conmutación activos 2 están dispuestos por tanto en la denominada ramificación de rectificador superior y los elementos de conmutación activos 3 en la ramificación de rectificador inferior. Los elementos de conmutación activos 2 son, por tanto, denominados elementos de conmutación de lado alto en tanto que conmutadores inferiores y los elementos de
65

5 conmutación activos 3 denominados elementos de conmutación de lado bajo en tanto que conmutadores inferiores. También se habla de una ramificación de lado alto (desde el centro de los respectivos puentes convertidores de corriente 21 a 25 pasando por los elementos conmutadores 2 hasta la conexión de tensión continua 5) o de una ramificación de lado bajo (desde el centro de los respectivos puentes convertidores de corriente 21 a 25 pasando por los elementos conmutadores 3 hasta la conexión de tensión continua 6).

10 Una medición de corriente se realiza a través de resistencias de medición (derivaciones) 4 en las ramificaciones de lado bajo del convertidor de corriente 20. De manera conocida se mide, para ello, la tensión que cae en la resistencia de medición, en este caso en particular en una entrada de convertidor analógico/digital de un aparato de control 30.

Un procedimiento para determinar todas las corrientes de fase de acuerdo con una forma de realización ventajosa de la invención se describe haciendo referencia a la figura 2. El aparato de control 30 está configurado, desde el punto de vista de la técnica de programación, para llevar a cabo el procedimiento.

15 En la figura 2 están representadas, una encima de otra, las evoluciones temporales de las tensiones de fase de las cinco fases U, V, W, X e Y. Una tensión de batería de una batería conectada entre la conexión de tensión continua superior 5 y la conexión de tensión continua inferior 6 está identificada con U_{Bat} y la masa con "0". En un accionamiento híbrido típico, el convertidor de corriente 20 está unido con una red de a bordo de alta tensión, con por ejemplo 48 V.

20 De acuerdo con el modo de rectificación activo, cada uno de los elementos de conmutación de lado alto 2 se cierra, mientras la correspondiente tensión de fase con respecto a la masa sea mayor que la tensión de batería presente en la conexión de tensión continua superior 5, con respecto a la masa. El esquema de conmutación está designado en cada caso con 101.

25 Además, de acuerdo con el modo de rectificación activo, cada uno de los elementos de conmutación de lado bajo 3 se cierra, mientras la correspondiente tensión de fase, con respecto a la masa, sea menor que la masa presente en la conexión de tensión continua inferior 5. El esquema de conmutación está designado en cada caso con 102.

30 En el marco de la invención es ahora posible determinar todas las corrientes de fase I_U, I_V, I_W, I_X, I_Y mediante la medición, convenientemente simultánea, de todas las corrientes de ramificación de lado bajo $I_{LSU}, I_{LSV}, I_{LSW}, I_{LSX}, I_{LSY}$. De todas las corrientes de ramificación de lado bajo medidas se recurre entonces a las dos con la amplitud de mayor magnitud para el cálculo de las corrientes de fase. Estas están identificadas en la figura 2 con "válida" y las otras tres con "inválida". Se identifican momentos de medición a modo de ejemplo mediante líneas discontinuas verticales. Los momentos de medición pueden situarse, en particular, de manera arbitraria e independientemente de los tiempos de conmutación del modo de rectificación activo. En el presente ejemplo, los momentos de medición son equidistantes en una rejilla temporal regular Δt .

35 A partir del conocimiento de las distancias angulares entre las fases (en este caso, 72°) puede calcularse cada corriente de fase en función de las dos corrientes de ramificación de lado bajo de mayor magnitud, es decir válidas. Para ellos e definen los siguientes factores de conversión:

$$\text{Factor11} = \text{sen}(216^\circ) / \text{sen}(288^\circ)$$

$$45 \quad \text{Factor21} = \cos(216^\circ) - (\text{sen}(216^\circ) / \tan(288^\circ))$$

$$\text{Factor12} = \text{sen}(144^\circ) / \text{sen}(216^\circ)$$

$$\text{Factor22} = \cos(144^\circ) - (\text{sen}(144^\circ) / \tan(216^\circ))$$

$$50 \quad \text{Factor13} = \text{sen}(72^\circ) / \text{sen}(144^\circ)$$

$$\text{Factor23} = \cos(72^\circ) - (\text{sen}(72^\circ) / \tan(144^\circ))$$

55 En el presente ejemplo, por consiguiente, para un momento de medición t_1 son válidas las corrientes de ramificación de lado bajo I_{LSV} e I_{LSW} , que son por tanto al mismo tiempo las corrientes de fase I_V o I_W . Las demás corrientes de fase se deducen a partir de las mismas como:

$$I_X = (I_{LSV} - I_{LSW} \cdot \text{Factor11}) / \text{Factor 21}$$

$$60 \quad I_Y = (I_{LSV} - I_{LSW} \cdot \text{Factor12}) / \text{Factor 22}$$

$$I_U = (I_{LSV} - I_{LSW} \cdot \text{Factor13}) / \text{Factor 23}$$

65 En un momento de medición t_2 son válidas las corrientes de ramificación de lado bajo I_{LSU} e I_{LSY} , que son por tanto al mismo tiempo las corrientes de fase I_U e I_Y , respectivamente. Las demás corrientes de fase se deducen a partir de las mismas como:

$$I_V = (I_{LSY} - I_{LSU} \cdot \text{Factor11}) / \text{Factor 21}$$

$$I_W = (I_{LSY} - I_{LSU} \cdot \text{Factor12}) / \text{Factor 22}$$

5

$$I_X = (I_{LSY} - I_{LSU} \cdot \text{Factor13}) / \text{Factor 23}$$

En un momento de medición t_4 son válidas las corrientes de ramificación de lado bajo I_{LSX} e I_{LSY} , que son por tanto al mismo tiempo las corrientes de fase I_X e I_Y , respectivamente. Las demás corrientes de fase se deducen a partir de las mismas como:

10

$$I_U = (I_{LSX} - I_{LSY} \cdot \text{Factor11}) / \text{Factor 21}$$

$$I_V = (I_{LSX} - I_{LSY} \cdot \text{Factor12}) / \text{Factor 22}$$

15

$$I_W = (I_{LSX} - I_{LSY} \cdot \text{Factor13}) / \text{Factor 23}$$

Para las corrientes de ramificación de lado bajo I_{LSU} e I_{LSV} válidas, las demás corrientes de fase se deducen como:

20

$$I_W = (I_{LSU} - I_{LSV} \cdot \text{Factor11}) / \text{Factor 21}$$

$$I_X = (I_{LSU} - I_{LSV} \cdot \text{Factor12}) / \text{Factor 22}$$

$$I_Y = (I_{LSU} - I_{LSV} \cdot \text{Factor13}) / \text{Factor 23}$$

25

Por último, para las corrientes de ramificación de lado bajo I_{LSW} e I_{LSX} válidas, las demás corrientes de fase se deducen como:

30

$$I_Y = (I_{LSW} - I_{LSX} \cdot \text{Factor11}) / \text{Factor 21}$$

$$I_U = (I_{LSW} - I_{LSX} \cdot \text{Factor12}) / \text{Factor 22}$$

$$I_V = (I_{LSW} - I_{LSX} \cdot \text{Factor13}) / \text{Factor 23}$$

35

En total pueden determinarse, por tanto, por medio de la invención, todas las corrientes de fase de una máquina eléctrica con al menos cuatro fases también cuando el convertidor de corriente funciona como rectificador activo.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para determinar las corrientes de fase (I_U, I_V, I_W, I_X, I_Y) de una máquina eléctrica con un convertidor de corriente (20) y un estator (10) con al menos cuatro fases (U, V, W, X, Y), presentando el convertidor de corriente (20) para cada una de las al menos cuatro fases (U, V, W, X, Y) una ramificación superior con un conmutador superior (2) y una ramificación inferior con un conmutador inferior (3), estando unidas todas las ramificaciones superiores con una conexión de tensión continua superior (5) y todas las ramificaciones inferiores con una conexión de tensión continua inferior (6),
 5 en donde el convertidor de corriente (20) funciona en un modo de rectificación activo, en el que cada conmutador superior (2) solo está cerrado mientras una tensión de fase en el conmutador superior (2) en cuestión sea mayor, con respecto a la masa, que una tensión en la conexión de tensión continua superior (5) con respecto a la masa, y en donde cada conmutador inferior solo está cerrado mientras una tensión de fase en el conmutador inferior (3) en cuestión sea menor, con respecto a la masa, que una tensión en la conexión de tensión continua inferior (6) con respecto a la masa,
 10 en donde se miden corrientes de ramificación de fase ($I_{LSU}, I_{LSV}, I_{LSW}, I_{LSX}, I_{LSY}$) en todas las ramificaciones inferiores, en donde las corrientes de fase (I_U, I_V, I_W, I_X, I_Y) se determinan a partir de un número de corrientes de ramificación de fase ($I_{LSU}, I_{LSV}, I_{LSW}, I_{LSX}, I_{LSY}$) mayor que uno y menor que el número de las al menos cuatro fases (U, V, W, X, Y), caracterizado por que las corrientes de fase (I_U, I_V, I_W, I_X, I_Y) se determinan a partir de las dos corrientes de ramificación de fase ($I_{LSU}, I_{LSV}, I_{LSW}, I_{LSX}, I_{LSY}$) de mayor magnitud.
 15
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en donde las corrientes de ramificación de fase ($I_{LSU}, I_{LSV}, I_{LSW}, I_{LSX}, I_{LSY}$) se miden en todas las ramificaciones inferiores al mismo tiempo.
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde las corrientes de ramificación de fase ($I_{LSU}, I_{LSV}, I_{LSW}, I_{LSX}, I_{LSY}$) se miden por medio de en cada caso una resistencia de medición (4) en todas las ramificaciones inferiores.
 25
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde las corrientes de ramificación de fase ($I_{LSU}, I_{LSV}, I_{LSW}, I_{LSX}, I_{LSY}$) se miden en todas las ramificaciones inferiores en una rejilla temporal regular.
 30
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde las corrientes de ramificación de fase ($I_{LSU}, I_{LSV}, I_{LSW}, I_{LSX}, I_{LSY}$) se miden en todas las ramificaciones inferiores independientemente de los momentos de conmutación del modo de rectificación activo.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde las corrientes de fase (I_U, I_V, I_W, I_X, I_Y) se determinan a partir del número de corrientes de ramificación de fase ($I_{LSU}, I_{LSV}, I_{LSW}, I_{LSX}, I_{LSY}$) teniendo en cuenta las distancias angulares entre las al menos cuatro fases (U, V, W, X, Y).
 35
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde entre la conexión de tensión continua superior (5) y la conexión de tensión continua inferior (6) está presente una tensión de batería.
 40
8. Unidad de cálculo, configurada para llevar a cabo un procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores.
9. Red de a bordo de vehículo de motor con una máquina eléctrica con un convertidor de corriente (20) y un estator (10) con al menos cuatro fases (U, V, W, X, Y), presentando el convertidor de corriente (20) para cada una de las al menos cuatro fases (U, V, W, X, Y) una ramificación superior con un conmutador superior (2) y una ramificación inferior con un conmutador inferior (3), estando unidas todas las ramificaciones superiores con una conexión de tensión continua superior (5) y todas las ramificaciones inferiores con una conexión de tensión continua inferior (6), y con una unidad de cálculo de acuerdo con la reivindicación 8.
 45
 50
10. Red de a bordo de vehículo de motor según la reivindicación 9, con un acumulador de energía eléctrica (40), que está conectado entre la conexión de tensión continua superior (5) y la conexión de tensión continua inferior (6).
11. Programa informático, que hace que una unidad de cálculo lleve a cabo un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8 cuando se ejecuta en la unidad de cálculo.
 55
12. Medio de almacenamiento legible por máquina con un programa informático almacenado en el mismo según la reivindicación 12.

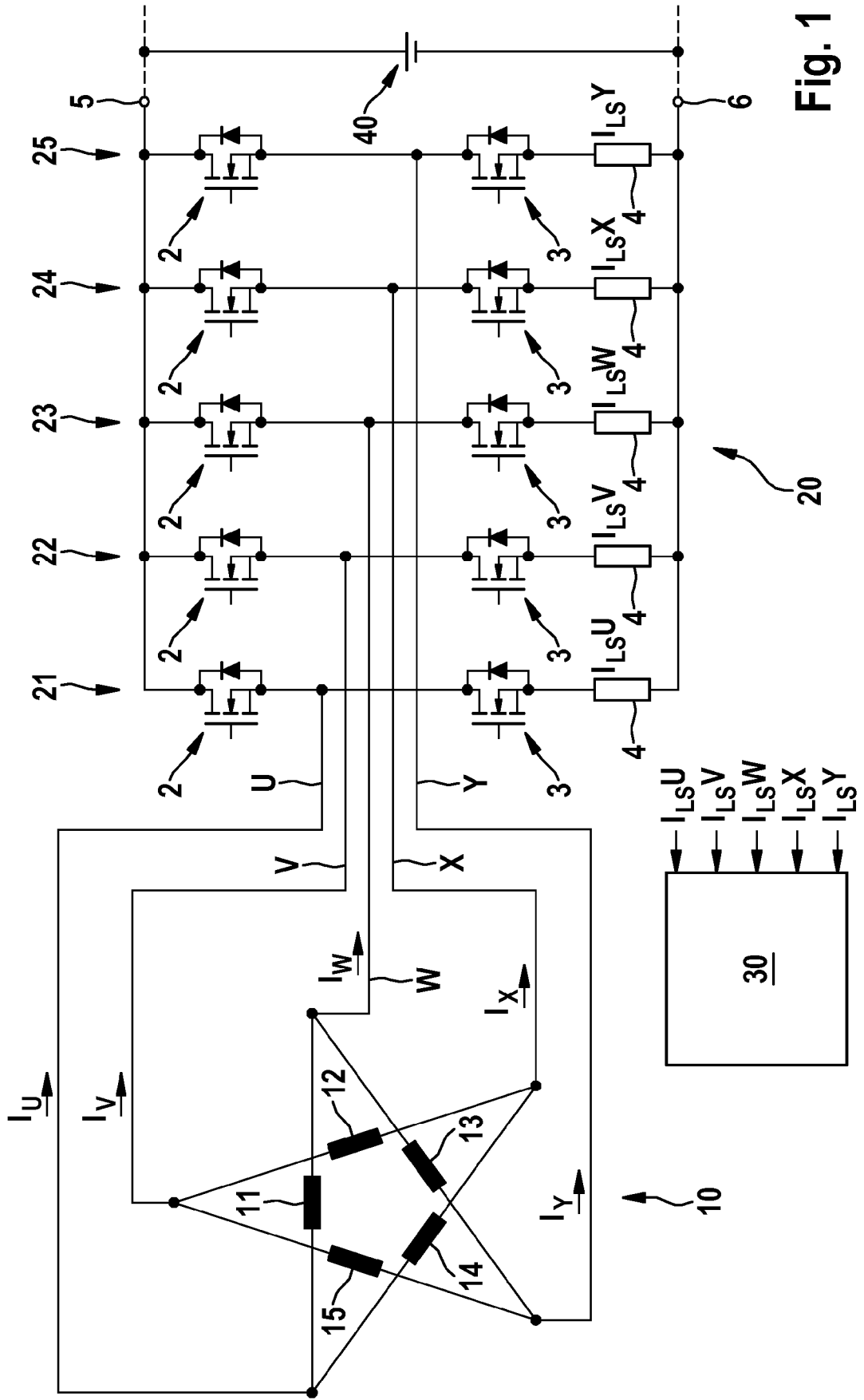


Fig. 1

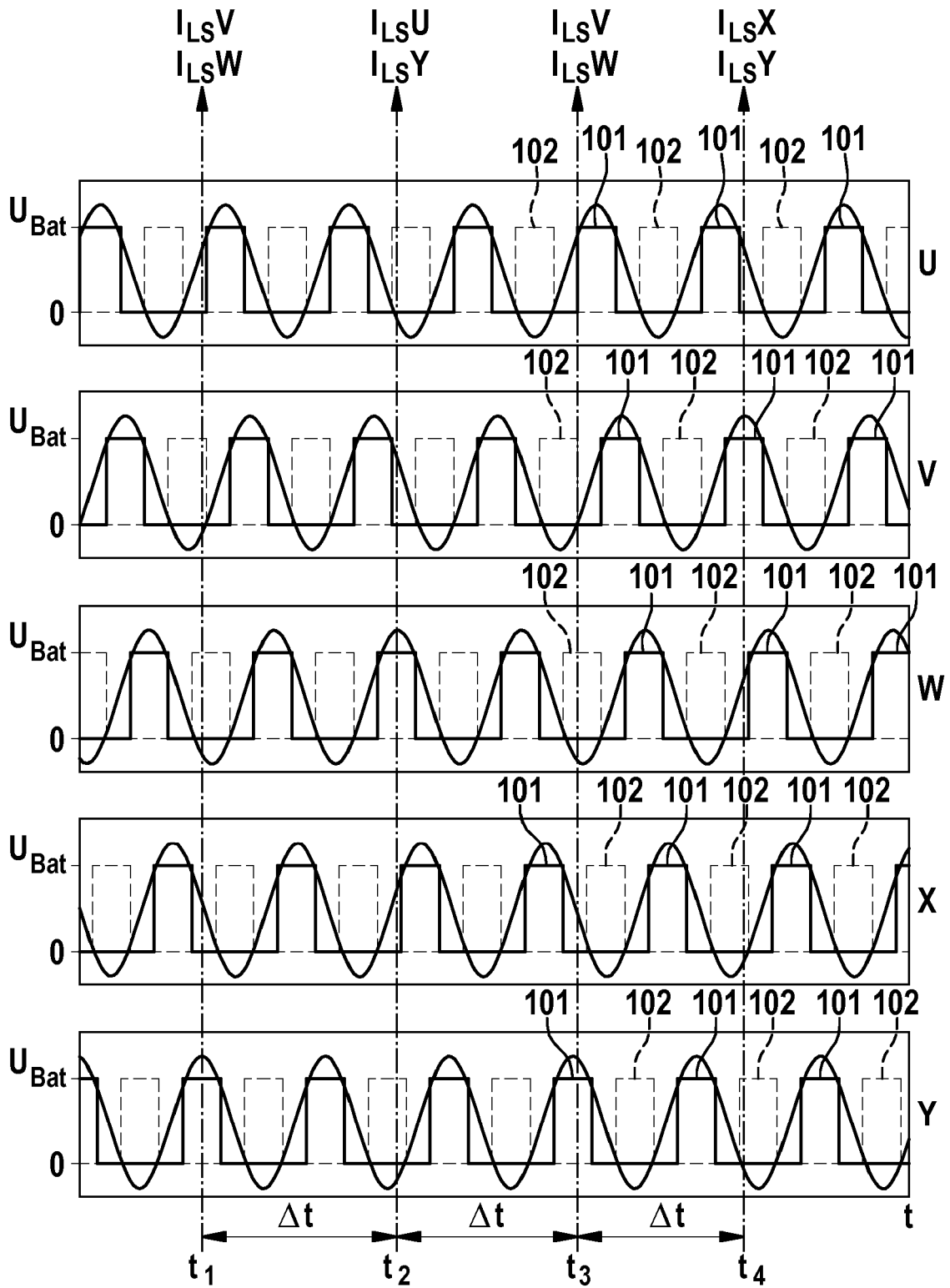


Fig. 2