

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 776 186**

51 Int. Cl.:

H02M 1/00 (2006.01)

H02P 6/28 (2006.01)

H02M 7/5395 (2006.01)

H02P 27/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.11.2014** **E 14003959 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2020** **EP 2899879**

54 Título: **Procedimiento para operar, así como dispositivo para activar una máquina eléctrica rotativa sin escobillas**

30 Prioridad:

24.01.2014 DE 102014000945

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

29.07.2020

73 Titular/es:

**BROSE FAHRZEUGTEILE GMBH & CO.
KOMMANDITGESELLSCHAFT, WÜRZBURG
(100.0%)
Ohmstrasse 2a
97076 Würzburg, DE**

72 Inventor/es:

SCHWARZKOPF, JOHANNES

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 776 186 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 operar, así como dispositivo para activar una máquina eléctrica rotativa sin escobillas

5 La invención se encuentra dentro del área de las máquinas eléctricas rotativas y se refiere a máquinas sin escobillas con al menos tres bobinados de fases que están conectados entre sí.

10 Para evitar las desventajas conocidas de las máquinas eléctricas rotativas con dispositivos de conmutador mecánicos en forma de escobillas, como por ejemplo el chisporroteo de las escobillas que se produce y los problemas de desgaste del dispositivo de conmutador mecánico con pérdidas de rendimiento útil correspondientes, aprovechando las posibilidades de la electrónica de potencia se desarrollaron las así llamadas máquinas eléctricas sin escobillas, cuya propensión a fallos es esencialmente más reducida y cuyo desgaste está determinado esencialmente por el desgaste de los soportes y, con ello, es más reducido.

15 En un accionamiento eléctrico sin escobillas de esa clase, el rotor usualmente presenta imanes permanentes que se desplazan en un campo magnético que rota, del estator provisto de bobinados de fase. Los bobinados del estator se activan con interruptores semiconductores de potencia, en particular con transistores de potencia, en particular con transistores MOSFET. La activación de los distintos bobinados de fase del estator tiene lugar de forma cíclica, donde usualmente una modulación de ondas de pulso se aplica al activar los bobinados de fase individuales, para aplicar a los mismos una corriente precisa y que puede controlarse rápidamente.

20 Por la solicitud WO2008/006745 se conoce una máquina eléctrica rotativa con una pluralidad de bobinados de fase, en la cual la activación sucede mediante la aplicación alternada de diferentes potenciales de tensión en las conexiones del bobinado de fases, y donde respectivamente el potencial de los bornes se mantiene constante, por periodos. De este modo, los potenciales eléctricos en las conexiones del bobinado de fases restantes pueden controlarse dinámicamente de manera que en las mismas se generan perfiles de corriente correspondientes. La aplicación de los potenciales de tensión y la aplicación de corriente de los bobinados de fases restantes, de manera conveniente, sucede mediante señales moduladas por ancho de pulso, las cuales se conmutan de forma alternada entre un nivel de tensión inferior y un nivel de tensión superior con frecuencia elevada, donde las intensidades de la corriente generadas en un bobinado de fases se determina por ejemplo mediante el factor de utilización de la señal modulada por ancho de pulso asociada.

25 Puesto que los bobinados de fases están acoplados entre sí, por ejemplo en una conexión en estrella o en triángulo, y las intensidades de la corriente generadas dependen esencialmente de las diferencias de tensión entre las tensiones aplicadas en las primeras conexiones del bobinado de fases, una primera conexión del bobinado de fases de un bobinado de fases seleccionado puede conectarse a un potencial fijo, por ejemplo con potencial a tierra o con el potencial de tensión más elevado de un circuito intermedio de tensión continua, y las tensiones diferenciales entre todas las conexiones del bobinado de fases pueden determinarse mediante el cálculo adecuado y la generación de tensiones en las conexiones de los bobinados de fases restantes. De ello resulta que la tensión de alimentación que se aplica al primer bobinado de fases seleccionado no debe conmutarse alternando entre los diferentes niveles, de modo que se suprimen las pérdidas por conmutación generadas a través de las conmutaciones, con respecto a esa fase. Con ello se reducen en total las pérdidas por conmutación de la máquina. Además, como consecuencia de la reducción de la frecuencia de conmutación se produce también una mejora de la compatibilidad electromagnética (EMV).

45 Por la solicitud US 2004/0080293 A1 se conoce un procedimiento en el cual, por momentos, un bobinado de fases seleccionado está conectado a un potencial eléctrico constante, mientras que a los bobinados de fases restantes se aplican señales moduladas por ancho de pulso, y sus pulsos se desplazan unos contra otros, en cuanto a las fases.

50 En la solicitud US 2008/0266918 A1 se conoce un procedimiento para conmutar un circuito en puente de una carga trifásica, en el cual se selecciona entre un primer y un segundo procedimiento de conmutación. En el primer procedimiento de conmutación se genera una cantidad reducida de combinaciones de conmutación, que corresponde a los vectores de control de libre circulación. En el segundo procedimiento de conmutación se generan solamente aquellas combinaciones de conmutación que corresponden a los vectores de control activos. El procedimiento conocido está definido en cuanto a un vector de tensión de referencia dado. Conforme al procedimiento se prevé que mediante el procedimiento de conmutación seleccionado se genere una secuencia de vectores de control a partir de las combinaciones de conmutación.

60 Considerando los antecedentes del estado de la técnica, la invención se ha planteado el objeto de reducir aún más las pérdidas por conmutación y de optimizar igualmente la carga de la fuente de corriente y/o de tensión.

65 El objeto se soluciona con relación a un procedimiento para operar una máquina eléctrica rotativa con las características de la reivindicación 1. Las reivindicaciones dependientes contienen configuraciones ventajosas de la invención. Con relación a un dispositivo para activar una máquina eléctrica rotativa, el objeto se soluciona con las características de la reivindicación 4.

- Del mismo modo, en el procedimiento según la invención, por momentos, un bobinado de fases seleccionado está conectado a un potencial eléctrico constante, mientras que a los bobinados de fases restantes se aplican señales moduladas por ancho de pulso. Para mantener en total lo más reducidas posible las pérdidas por conmutación y además mantener reducidos los componentes de tensión alterna en la fuente de corriente que alimenta los bobinados de fases, se prevé además que durante el periodo en el cual el bobinado de fases seleccionado está conectado a un potencial eléctrico constante, los pulsos de las señales moduladas por ancho de pulso, que se aplican a los bobinados de fases restantes, al menos por momentos, se desplacen en cuanto a las fases, unos contra otros, en función de los sentidos de la corriente en esos bobinados de fases restantes.
- Mediante un desplazamiento de fases, al menos por momentos, de los impulsos de tensión individuales de los bobinados de fases que no están conectados a un potencial eléctrico fijo - los así llamados bobinados de fases restantes - la demanda de corriente y de tensión de los bobinados de fases individuales que deben ser cargados se espacia temporalmente en la fuente de corriente/tensión en común. Con ello, en el marco de la temporización de la modulación por ancho de pulso, no debe aplicarse a dos bobinados de fases simultáneamente una corriente orientada del mismo modo. Gracias a esto se protege en principio la fuente de tensión. Al fijar el primer bobinado de fases en un nivel de tensión fijo se reduce en total la cantidad de conmutaciones, ya que tan sólo deben proporcionarse impulsos de tensión en una cantidad de bobinados de fases, reducida en uno (1).
- En una configuración ventajosa de la invención se prevé que las señales de tensión moduladas por ancho de pulso, que se aplican a los bobinados de fases restantes, se desplacen permanentemente unas contra otras en cuanto a las fases, durante el periodo en el cual un bobinado de fases seleccionado está conectado a un potencial eléctrico constante.
- En esta configuración de la invención, al menos durante los periodos en los cuales las corrientes en los bobinados de fases restantes tienen el mismo sentido, mediante el desplazamiento de fases de la temporización de las señales moduladas por ancho de pulso, se reduce la carga máxima de la fuente de corriente/tensión y se iguala su carga de corriente, de manera que se reduce también el componente de corriente alterna. Además, en los espacios de tiempo mencionados, en los cuales los sentidos de la corriente coinciden en los bobinados de fases restantes, mediante la variabilidad más reducida de la intensidad de la corriente en la fuente de corriente/tensión, es posible con mayor facilidad medir la intensidad de la corriente, puesto que para ello se disponen de tiempos de medición más prolongados dentro del tiempo de ciclo.
- En otra configuración ventajosa de la invención se prevé que las señales de tensión moduladas por ancho de pulso, que se aplican a los bobinados de fases restantes durante el periodo por el cual el bobinado de fases seleccionado está conectado a un potencial constante, se desplacen unas contra otras en cuanto a las fases, por momentos, y que por momentos no se desplacen unas contra otras, en cuanto a las fases.
- Esa variante de la invención permite desplazar unas contra otras las señales de tensión de los bobinados de fases restantes sólo cuando las corrientes correspondientes poseen el mismo sentido. En espacios de tiempo, en los cuales las corrientes, mediante los bobinados de fases restantes, tienen sentidos opuestos, puede ser ventajoso no admitir ningún desplazamiento de fases entre los impulsos de tensión, ya que en ese caso las intensidades de la corriente que se proporcionan deben restarse unas de otras y, con ello, la aplicación de corriente de la fuente de tensión, como también su componente de corriente alterna, pueden mantenerse reducidos.
- Por lo tanto, se mide el sentido de la corriente en los bobinados de fases individuales, a los que se han aplicado señales moduladas por ancho de pulso. En función de las intensidades de la corriente y de los sentidos de la corriente se decide si se genera o no un desplazamiento de fases entre las señales de tensión.
- De este modo, por el sentido de la corriente puede entenderse la orientación de la corriente con respecto a un punto de referencia, por ejemplo a un neutro, en el caso de estar presente una conexión en estrella de la máquina eléctrica. Las corrientes parciales que están orientadas hacia el neutro, presentan entonces el mismo sentido, mientras que las corrientes que circulan alejándose del neutro, están orientadas en contra de las corrientes que circulan en el mismo. En el caso de una conexión en triángulo, por ejemplo corrientes que circulan en sentido horario pueden interpretarse como de igual sentido y orientadas del mismo modo, mientras que las corrientes en contra del sentido horario se oponen a las corrientes en el sentido horario.
- Las señales de tensión moduladas por ancho de pulso, que se aplican a los bobinados de fases restantes, se desplazan unas contra otras en cuanto a las fases en los periodos en los cuales las corrientes que circulan por los bobinados de fases restantes poseen sentidos de la corriente coincidentes con respecto a un punto de conexión eléctrico, en el cual al menos dos de los bobinados de fases restantes están conectados entre sí, en particular con respecto al neutro en el caso de una conexión en estrella.
- La intensidad y la dirección de la corriente se miden de forma continua en los bobinados de fases restantes, así como independientemente de ello, de manera continua o periódica, se decide si las señales de tensión que se aplican a los bobinados de fases restantes se desplazan o no en cuanto a las fases, unas contra otras.

Las señales de tensión moduladas por ancho de pulso, que se aplican a los bobinados de fases restantes, se desplazan unas contra otras en cuanto a las fases exclusivamente en los períodos en los cuales las corrientes que circulan por los bobinados de fases restantes poseen el mismo sentido de circulación con respecto al punto de conexión de al menos dos bobinados de fases, en particular con respecto al neutro en el caso de una conexión en estrella.

En ese caso, en los espacios de tiempo en los cuales los sentidos de la corriente son iguales en los bobinados de fases restantes, la carga de la fuente de tensión se reduce al mínimo, con un componente de tensión alterna relativamente reducido, y en las fases en las cuales las intensidades de la corriente son diferentes en los bobinados de fases restantes por lo menos se optimiza la carga de corriente de la fuente de tensión.

Los desplazamientos de fases entre las señales de tensión moduladas por ancho de pulso, las cuales se aplican a los bobinados de fases restantes, ascienden a 180°.

En otra configuración ventajosa de la invención se prevé que los valores momentáneos de las intensidades de corriente en los bobinados de fases restantes y en particular en el bobinado de fases seleccionado se determinen a partir de una o de más mediciones de la intensidad de corriente de una fuente de corriente en común que alimenta los bobinados de fases, en particular de un circuito intermedio de tensión continua.

Puesto que las señales moduladas por ancho de pulso, que se aplican a los bobinados de fases restantes, debido a la demanda de corriente respectivamente diferente en los bobinados de fases individuales, se conectan y desconectan en períodos diferentes dentro de la temporización de la modulación por ancho de pulso, es decir, que poseen factores de utilización diferentes, durante un periodo de la modulación por ancho de pulso, en un primer momento, puede medirse la carga de corriente a través de un bobinado de fases individual cargado, y en un segundo momento, cuando los dos bobinados de fases se cargan al mismo tiempo, puede medirse la suma de las corrientes proporcionadas. A partir de esos dos valores de medición, considerando las inductancias, las tensiones inducidas y las transferencias inversas, pueden determinarse tanto las intensidades de corriente individuales en los bobinados de fases, como también los sentidos de las corrientes. La medición está simplificada principalmente en el caso de un desplazamiento de fases de las señales moduladas por ancho de pulso de los bobinados de fases proporcionados, ya que las fases de intensidad de la corriente constante (en las cuales no se conecta o desconecta ninguna señal PWM) son este caso más prolongadas.

En otra configuración ventajosa de la invención se prevé que, en particular en base a las tensiones de las fases, se estimen los valores momentáneos de las intensidades de la corriente, que circulan a través de los bobinados de fases restantes y en particular también a través del bobinado de fases seleccionado.

Si la medición no puede realizarse del modo antes descrito debido a razones condicionadas por la situación, entonces las intensidades de la corriente pueden estimarse debido a la tensión aplicada en los bobinados de fases. En este caso, dependiendo de los recursos disponibles, pueden considerarse también inductancias, tensiones inducidas y cargas de la máquina eléctrica.

La invención, además de a un procedimiento de la clase antes mencionada, se refiere también a una máquina eléctrica rotativa sin escobillas, con al menos tres bobinados de fases, los cuales en cada caso presentan una primera y una segunda conexión del bobinado de fases, donde los bobinados de fases están conectados entre sí - en particular están conectados respectivamente con las segundas conexiones del bobinado de fases, con un neutro en común - y con un dispositivo para la activación, donde a los bobinados de fases individuales pueden aplicarse señales de tensión moduladas por ancho de pulso, respectivamente de forma separada. Un primer dispositivo de conmutación conecta al menos por momentos un primer bobinado de fases con un potencial eléctrico constante de una fuente de tensión, en particular de un circuito intermedio de tensión continua. Un dispositivo sirve para determinar intensidades de la corriente en los bobinados de fases restantes. Un segundo dispositivo de conmutación, en función de los sentidos de la corriente en los bobinados de fases restantes, está configurado para conectar y desconectar un desplazamiento de fases de los pulsos en esos bobinados de fases, de unos contra otros.

El dispositivo permite la activación de la máquina eléctrica con señales moduladas por ancho de pulso según el procedimiento antes descrito, donde en una forma de realización se determina primero el bobinado de fases con la intensidad de corriente más elevada y usualmente esa fase se conecta de forma fija con un potencial elevado o con un potencial reducido del perfil de tensión modulado por ancho de pulso, al menos por un espacio de tiempo. De este modo, el potencial de tensión elevado o el potencial de tensión reducido se selecciona dependiendo de en cuáles de los potenciales mencionados puede evitarse una intervención de impulsos de tensión en la fase seleccionada, y las corrientes necesarias en esa fase pueden generarse en la medida de lo posible a través de la combinación correspondiente de las tensiones en los bobinados de fases restantes.

A continuación, se describen con más detalle ejemplos de realización de la invención, mediante un dibujo. Aquí muestran:

Figura 1: de manera esquemática, los bobinados de fases de una máquina eléctrica trifásica, en una conexión en estrella,

Figura 2: un circuito en puente para la activación de respectivamente un bobinado de fases de un motor eléctrico,

Figura 3: un circuito equivalente para un suministro de tensión de una fase,

5 Figura 4: una representación esquemática de una máquina eléctrica con una conexión en triángulo, de tres bobinados de fases,

Figura 5: una representación esquemática de un dispositivo para la activación de una máquina eléctrica, con el ejemplo de una máquina con conexión en estrella,

10 Figura 6: un primer diagrama de las señales moduladas por ancho de pulso de tres fases, que están temporizadas unas con respecto a otras con la misma frecuencia y la misma fase,

Figura 7: un segundo diagrama de las señales moduladas por ancho de pulso de tres fases, donde el bobinado de fases U está fijado en un potencial constante,

15 Figura 8: un tercer diagrama de las señales moduladas por ancho de pulso, de tres fases, donde el bobinado de fases W está fijado en un potencial elevado constante, mientras que a los bobinados de fases U y V se aplican señales con la misma fase,

Figura 9: un cuarto diagrama de las señales moduladas por ancho de pulso, de tres fases, donde el bobinado de fases U está fijado en un potencial constante, mientras que a los bobinados de fases V y W se aplican señales desplazadas unas contra otras en cuanto a las fases, así como

20 Figura 10: un quinto diagrama de las señales moduladas por ancho de pulso, de tres fases, donde el bobinado de fases W está fijado en un potencial elevado constante, y a los bobinados de fases U y V se aplican señales desplazadas unas contra otras en cuanto a las fases.

25 La figura 1, de manera esquemática, muestra una conexión en estrella de tres bobinados de fases U, V, W, donde el neutro 1 forma la conexión de unión de los bobinados de fases U, V, W; en el cual están conectadas unas con otras sus respectivamente segundas conexiones del bobinado de fases. Los bobinados de fases individuales se muestran en forma de un circuito equivalente con respectivamente una inductancia 2 y una resistencia óhmica 3, así como con una caída de tensión que - representada mediante el círculo 4 - se genera mediante una tensión (EMK, EMF) inducida debido al movimiento. La tensión que desciende respectivamente mediante un bobinado de fases U, V, W está representada mediante las flechas 20, 21, así como 22, y resulta respectivamente como suma de las caídas de tensión
30 mediante la inductancia y la resistencia óhmica, así como mediante la tensión inducida.

35 La activación de un accionamiento eléctrico sin escobillas de esa clase, que funciona en una conexión en estrella, puede tener lugar por ejemplo mediante un así llamado circuito B6, un circuito en puente de semiconductores típico, en el cual, en cada uno de los bobinados de fases, en forma de ciclos, de manera selectiva, puede aplicarse un nivel de tensión continua más elevado o un nivel de tensión continua más reducido, en particular un potencial a tierra. Con ello, un accionamiento eléctrico de esa clase puede controlarse con respecto a la velocidad de rotación, a la potencia y a la dirección de rotación.

40 En la figura 1, de manera esquemática, se representa a modo de ejemplo una disposición de dos interruptores para la fase W, donde la referencia 5 indica la conexión de potencial a tierra y la referencia 6 un potencial de tensión continua más elevado. Mediante los interruptores 7, 8; la primera conexión 9 del bobinado de fases W puede conectarse al potencial de tensión continua más elevado o al potencial a tierra. Si se cierra el interruptor 7 y se abre el interruptor 8, entonces la conexión 9 se conecta al potencial de tensión más elevado. Si la conexión 7 está abierta y la conexión 8 está cerrada, entonces la primera conexión 9 del bobinado de fases W se conecta al potencial a tierra. Cada una de
45 las primeras conexiones del bobinado de fases 9, 12, 30 está conectada a una disposición de interruptores de esa clase. Dependiendo de la posición del interruptor de los interruptores 7, 8 individuales, de este modo, a cada bobinado de fases U, V, W pueden aplicarse dos niveles de tensión diferentes.

50 La figura 2 representa con más detalle una posible construcción de un circuito con una configuración de dos interruptores semiconductores 7, 8; de forma análoga a las denominaciones de la figura 1, mediante los cuales, de manera dirigida, dos potenciales de tensión diferentes pueden conectarse a un bobinado de fases U, V, W. La primera conexión del bobinado de fases está indicada con la referencia 9. Un nivel de tensión más reducido, por ejemplo el potencial a tierra, está indicado con la conexión de potencial a tierra 5, mientras que el potencial de tensión continua más elevado se aplica en la conexión 6. Los interruptores 7, 8 están realizados como interruptores MOSFET que respectivamente pueden interconectarse o bloquearse, y los cuales pueden activarse mediante una tensión de control, o mediante su estado de conmutación. Las entradas de tensión de control se indican en la figura 2 con las referencias
55 10, así como 11. Mediante la activación correspondiente de las entradas de tensión de control 10, 11; de este modo, en un bobinado de fases U, V, W de un circuito, por ejemplo de una conexión en estrella de un accionamiento eléctrico, de manera selectiva, puede aplicarse un potencial de tensión continua de un nivel de tensión más elevado o de un nivel de tensión más reducido, o de un potencial a tierra.

60 Las entradas de tensión de control 10, 11 son activadas por un primer dispositivo de conmutación 34, así como por un segundo dispositivo de conmutación 35, donde el primer dispositivo de conmutación 34 establece el inicio o el final del impulso de tensión, así como la duración del impulso o el factor de utilización, mientras que el segundo dispositivo de conmutación 35, en caso necesario, puede conmutar entre un desplazamiento de fases de cero y un desplazamiento de fases establecido, por ejemplo de 180°.

La figura 3 muestra un circuito equivalente para una fuente de tensión que por ejemplo puede proporcionar el nivel de tensión más elevado en la conexión 6, en la figura 2, con respecto al potencial a tierra. De este modo, la referencia 23 indica la resistencia interna de la fuente de tensión, 24 la inductancia propia, 25 la capacidad, 26 la conexión de potencial a tierra, 27 un shunt (resistencia de medición), en el cual desciende la tensión útil, así como 28 la tensión útil proporcionada, y 29 la corriente proporcionada. La corriente y la tensión (del lado izquierdo del circuito), a modo de ejemplo, son proporcionadas por una batería o por un circuito intermedio de tensión continua de un convertidor.

Usualmente, un circuito de activación para una conexión en estrella según la figura 1 presenta respectivamente puentes de interruptor de semiconductor para cada bobinado de fases, tal como se representa a modo de ejemplo en la figura 2.

Lo análogo aplica para una conexión en triángulo representada esquemáticamente en la figura 4, la cual igualmente puede servir como circuito típico de un accionamiento eléctrico, con características de accionamiento diferentes en comparación con una conexión en estrella. Para los bobinados de fases individuales de las fases U, V, W aplica lo antes descrito con relación a la figura 1. También la activación puede estar realizada de forma similar a una conexión en estrella, así como al hardware, donde los mecanismos de regulación de la activación pueden ser diferentes.

El procedimiento según la invención puede aplicarse también en el caso de una conexión en triángulo - como se representa en la figura 4 - activándose de forma dinámica dos de los tres bobinados de fases U, V, W mediante las conexiones del bobinado de fases 31, 32, 33, mientras que una conexión del bobinado de fases 31, 32, 33 seleccionada individual se fija en un nivel de tensión fijo.

La figura 5 muestra un circuito de activación en el cual una fuente de tensión/corriente 69, en forma de un circuito intermedio de tensión continua, proporciona una tensión continua en dos conexiones. Los primeros y los segundos dispositivos de conmutación 34, 35 están conectados directamente con una conexión de la fuente de tensión/corriente, y con una segunda conexión, mediante un dispositivo 70, en el cual la intensidad de la corriente, de la fuente de corriente/tensión, se mide en distintos momentos, y en base a ello intensidades de la corriente momentánea se determinan en los bobinados de fases. Además, al dispositivo se suministran valores objetivo para la operación de la máquina eléctrica, y en particular también valores de medición de un sensor de posición 71. Las señales de modulación del ancho de pulso y los valores de tensión fijos de manera opcional, para las conexiones del bobinado de fases 9, 12, 30 individuales, pueden generarse en tres dispositivos individuales que respectivamente contienen un primer y un segundo dispositivo de conmutación 34, 35. Sin embargo, también un dispositivo central con primer y segundo dispositivo de conmutación puede estar proporcionado para la activación coordinada de los tres bobinados de fase.

Mediante las figuras 6 a 10 que se describen a continuación debe mostrarse y explicarse de forma detallada el perfil de señal en las conexiones del bobinado de fases individuales, cómo pueden controlarse de manera ventajosa, así como pueden regularse, las señales de tensión en los bobinados de fases individuales, y qué consecuencias resultan de ello en cuanto a las corrientes en los bobinados de fases y de la corriente de alimentación de la fuente de corriente/tensión externa.

Los diagramas se componen respectivamente de cuatro secciones que se sitúan unas sobre otras. De forma horizontal, sobre el eje X está marcado respectivamente el tiempo, donde respectivamente están representados en total tres periodos de la modulación por ancho de pulso (por ejemplo un periodo puede ascender aproximadamente a 20 microsegundos). De este modo, dentro de un periodo de conmutación, usualmente mediante un elemento de conmutación de semiconductor, por tanto habitualmente mediante un interruptor MOSFET, un tiristor o un IGBT, se conecta una vez y se desconecta nuevamente la tensión en cada conexión del bobinado de fases. Cada uno de esos procesos de conmutación provoca naturalmente pérdidas por conmutación y perturbaciones en cuanto a la EMV (EMV = compatibilidad electromagnética). Los factores de utilización de las fases individuales, es decir, la parte de tiempo del periodo, durante el cual la tensión debe conectarse a la respectiva conexión de fases, se determina en los bobinados de fases individuales debido a mediciones de la intensidad de corriente real. De este modo, en el caso de un motor eléctrico, entre otras cosas, debe considerarse la carga actual, el número de revoluciones real y el número de revoluciones objetivo.

En el diagrama de la figura 6 se representa un procedimiento de activación usual, en el cual las primeras conexiones del bobinado de fases de todos los bobinados de fases de un motor eléctrico se activan respectivamente con una señal modulada por ancho de pulso. Las tensiones objetivo momentáneas de las tres fases se indican en la figura con un valor momentáneo como líneas horizontales 13 (valor objetivo de tensión U_U), 14 (valor objetivo de tensión U_V) y 15 (valor objetivo de tensión U_W). De este modo, se presupone que los valores de tensión objetivo varían en el tiempo en función del número de revoluciones del motor, de acuerdo con una función seno. Esto implica que las tres líneas 13, 14, 15 trazadas se desplazan periódicamente hacia arriba y hacia abajo en dirección vertical, es decir, en la dirección del eje X.

La línea 16 en forma de diente de sierra representa un estado del contador que aumenta linealmente de forma periódica y que se reduce, de un contador realizado en un microcontrolador. Los puntos de intersección entre los umbrales de las fases individuales, que establecen un momento determinado, representada mediante las líneas

horizontales 13, 14, 15 con la línea 16 en forma de diente de sierra, representan los momentos de conexión y de desconexión para los impulsos de tensión, que se aplican a las fases individuales. Conforme a ello, si un umbral de tensión es especialmente elevado, entonces la línea horizontal correspondiente será baja, de manera que el tiempo de contacto del impulso de tensión y el factor de utilización de la señal modulada por ancho de pulso son elevados, y al bobinado de fases correspondiente se aplica una tensión de forma relativamente prolongada (en comparación con los bobinados de fases restantes).

En la segunda sección horizontal del diagrama de la figura 6, observada desde arriba, indicada con la referencia 17, se representa con resolución temporal el perfil de tensión en las primeras conexiones de los respectivos bobinados de fases. De ello resulta aquí que, al transcurrir el tiempo, primero se aplica una tensión al bobinado de fases W, de manera que a continuación, en el momento 18, al bobinado de fases V se aplica una señal de tensión, y de manera que a continuación, en el momento 19, una señal de tensión se aplica al bobinado de fases U. En los momentos 36,37,38, las señales de tensión correspondientes de los bobinados de fases U,V,W nuevamente se desconectan, unas después de otras. Después de esto, ese perfil de tensión se repite periódicamente para las tres fases.

En la tercera sección 39 del diagrama de la figura 6 se representa la corriente resultante en la fuente de tensión en común, por tanto, por ejemplo, en el circuito intermedio de tensión continua, en su perfil temporal, a saber, en la situación en la cual en el bobinado de fases U la magnitud de la corriente es cuatro amperios (4A), en el bobinado de fases V la magnitud de la corriente es un amperio (1A) y en el bobinado de fases W la magnitud de la corriente es tres amperios (3A), donde, referido a los sentidos desde y hacia el neutro (calculado de forma positiva hacia el neutro o de forma negativa alejándose del neutro, o de forma inversa), el sentido de la corriente en los bobinados de fases V y W es el mismo, mientras que el sentido de la corriente en la fase U se opone a los dos primeros.

En el circuito intermedio de tensión continua, en primer lugar, en el primer periodo de conmutación, antes del momento 18 resulta sólo una corriente a través del bobinado de fases W en el valor de 3A, a la cual, a partir del momento 18, se agrega una corriente adicional de 1A, a través del bobinado de fases V. En el momento 19, entonces, de manera adicional, se agrega la corriente a través del bobinado de fases U, mediante una aplicación de un potencial de tensión correspondiente en el bobinado de fases en "high", donde el sentido de la corriente a través del bobinado de fases U se opone a las dos corrientes restantes y es de la misma magnitud, de manera que en el rango de tiempo entre el momento 19 y el momento 36 la corriente residual en el circuito intermedio de corriente continua es igual a 0.

Después del momento 36, la corriente se desconecta nuevamente a través del bobinado de fases U, de manera que queda una corriente residual en el valor de 4A en total, a través de los bobinados de fases V y W, la cual se reduce otra vez en 1A en el momento 37, después de lo cual, hasta el momento 38, tan sólo permanece la corriente en el valor de 3A a través del bobinado de fases W.

En conjunto resulta un número elevado de procesos de conmutación por periodo de las señales moduladas por ancho de pulso, así como mediante las intensidades de la corriente que varían en alto grado en el circuito de tensión continua, un componente de corriente alterna elevado en el condensador del circuito intermedio.

En la cuarta sección 40 del diagrama de la figura 6 se representa la situación en la cual los sentidos de la corriente se oponen unos a otros en los bobinados de fases V y W, y el sentido de la corriente en la fase U tiene el mismo sentido que en la fase V. También aquí resulta un número elevado de procesos de conmutación, con un componente de corriente alterna elevado de forma similar.

En la figura 7 se representa un procedimiento de activación según el estado de la técnica indicado (solicitud WO 2008/006754 A2), en el cual un bobinado de fases, a saber, el bobinado de fases de la fase U, está conectado de forma permanente al nivel superior de la tensión del circuito intermedio de tensión continua. Esto se representa mediante el posicionamiento correspondiente de la línea 13 horizontal en la punta superior de la curva de diente de sierra 16, en la sección superior del diagrama de la figura 7. Lógicamente, en la segunda sección superior 42 del diagrama de la figura 7 resulta un perfil constante de la tensión en la fase U, que está representado mediante la línea 41 horizontal. Sólo a las fases V y W restantes se aplican impulsos de tensión desde el circuito de activación, donde las corrientes que deben controlarse pueden regularse mediante los bobinados de fases U, V, W individuales, a través de las tensiones diferenciales. Por lo menos, en función de la tarea de regulación, puede determinarse respectivamente una fase que puede aplicarse en un nivel de tensión constante, en el nivel de tensión superior del circuito intermedio de tensión continua de la fuente de tensión, o en el nivel inferior de esa tensión, donde mediante la selección correspondiente de los niveles de tensión aplicados en los bobinados de fases restantes, pueden aplicarse las tensiones diferenciales requeridas para generar las corrientes diana.

De manera correspondiente, en la segunda sección 42 del diagrama de la figura 7 se representa el perfil de tensión en los bobinados de fases V y W. En la tercera sección 43 del diagrama de la figura 7 se representa el perfil de la corriente en el circuito intermedio de tensión, con la condición previa de que las intensidades de la corriente en los bobinados de fases V y W a los que se han aplicado señales, en el caso de un mismo sentido de esas corrientes, asciendan a 1A, así como a 3A. En primer lugar, en el momento 45 se produce un aumento de corriente a 3A, mediante la conmutación del puente de semiconductor correspondiente y la aplicación de una corriente al bobinado de fases W. En el momento 36 se produce un incremento en total a 4A, en el momento 47 una reducción a 3A y en el momento

48, mediante la desconexión de la señal de tensión en el bobinado de fases W, una corriente total de cero (0A). En total se producen aún relativamente muchos procesos de conmutación con grandes saltos de la intensidad de la corriente.

5 En una variante que está representada en la cuarta sección 44 del diagrama, las corrientes en las fases V y W están orientadas de forma opuesta. En primer lugar, en el momento 45, resulta una corriente de 4A, que se reduce a 3A en el momento 46; en el momento 47 se incrementa de nuevo a 4A, y en el momento 38 desciende a 0 amperios.

10 En total, mediante esta variante resultan menos procesos de conmutación que en el caso de la activación de todos los bobinados de fases de forma individual, y también resultan espacios de tiempo más prolongados, durante los cuales respectivamente una corriente total es constante en la fuente de tensión, de manera que también la medición de la corriente resulta más sencilla. No obstante, el número de los procesos de conmutación no se reduce a la dimensión deseada, y también el componente de corriente alterna que debe proporcionar la fuente de corriente y, con ello, el condensador del circuito intermedio, es elevado de forma inconveniente. El condensador del circuito intermedio, con
15 ello, se carga más de lo deseable.

20 En la figura 8, al igual que en la figura 7, se representa una situación en la cual uno de los bobinados de fases está conectado a un potencial constante, en este caso la primera conexión del bobinado de fases del bobinado de fases W. Esto puede observarse por la segunda sección 49 del diagrama de la figura 8, en la cual la línea 50 horizontal representa el perfil de tensión en la conexión del bobinado de fases W. En los bobinados de fases U, V restantes se aplican señales moduladas por ancho de pulso, donde en la tercera sección 51 del diagrama de la figura 8 se representa la situación de que las corrientes en los bobinados de fases U y V presentan sentidos de la corriente diferentes con respecto a los sentidos desde y hacia el neutro, mientras que las corrientes en los bobinados de fases mencionados, según la situación mostrada en la cuarta sección 53, presentan el mismo sentido.

25 Al igual que en los casos mostrados en el diagrama de la figura 7, se produce una reducción del número de conmutaciones, donde el componente de corriente alterna en la fuente de corriente, por tanto, en particular en un condensador del circuito intermedio de tensión continua, es elevado de forma no deseada.

30 En las figuras 9 y 10 se representan ahora variantes de la invención, las que permiten tanto reducir el número de los procesos de conmutación, como también reducir el componente de corriente alterna en el circuito intermedio de tensión continua, y además provocan que se disponga de más tiempo que en los casos antes presentados, para las respectivas mediciones de corriente que deben realizarse varias veces dentro de un periodo del pulso, de la señal modulada por ancho de pulso.

35 A este respecto, la figura 9 muestra un diagrama, en cuya primera sección 53 se muestra que el bobinado de fases U seleccionado se ubica en un nivel de tensión constante, reducido, mientras que a los bobinados de fases V, W restantes se aplican impulsos de tensión modulados por ancho de pulso. La segunda sección 54 del diagrama de la figura 9 muestra que la señal de tensión periódica, que se aplica en el bobinado de fases W, está desplazada en cuanto a las fases, con respecto a la señal de tensión en la fase V, en 180°. Los impulsos de tensión que se aplican en el bobinado de fases W, se guían por la línea 57 discontinua, en forma de diente de sierra, en la primera sección 53 del diagrama, mientras que los impulsos de tensión que se aplican en la fase V, se guían por la línea 58 continua, en forma de diente de sierra, desplazada en cuanto a las fases contra la línea 57, en 180°, de la primera sección 53.

45 En la tercera sección 55 del diagrama de la figura 9 se representa la situación en la cual coinciden los sentidos de la corriente en las fases V y W. La intensidad de la corriente en la fase V asciende a 1A y en la fase W la intensidad de la corriente asciende a 3A. La intensidad de la corriente en el bobinado de fases U asciende a 4A, y el sentido de la corriente en esa fase es opuesta a los sentidos de la corriente en las fases V y W. En la tercera sección 55 se muestra que, en la sección de tiempo, hasta el momento 59, desde la fuente de corriente deben proporcionarse corrientes para las fases U y W, por el circuito intermedio de tensión continua, mientras que desde el momento 60 hasta el momento 61, deben ser proporcionadas las corrientes para las fases U y V. Mediante el desplazamiento de fases entre los impulsos de tensión para los bobinados de fases V y W, han sido reducidos los saltos de corriente en el circuito de tensión continua, así como los saltos de las cargas de corriente para el condensador en el circuito intermedio.

50 En la cuarta sección 56 del diagrama de la figura 9 se observa que un desplazamiento de fases de esa clase entre los pulsos que se aplican a los bobinados de fases V y W, en el caso de que los sentidos de la corriente sean distintos en esos bobinados de fases con respecto a la conexión en estrella, conducen a otro efecto, menos deseado. Esto se muestra en el caso del perfil de corriente en el circuito intermedio, que debido a esto presenta saltos de mayor magnitud entre los momentos 59, 60 y después del momento 61, de manera que la intensidad de la corriente en la fase V está asociada a un sentido de la corriente que se opone al sentido de la corriente en la fase W.
60

De ello resulta que, cuando el componente de corriente alterna debe reducirse al mínimo en la fuente de corriente del dispositivo de activación, un desplazamiento de fases entre las señales moduladas por ancho de pulso, de las dos fases a las que se han aplicado señales, sólo es conveniente entonces cuando su sentido de la corriente coincide con respecto a la conexión en estrella. Ése es el caso cuando la fase seleccionada, que se conecta a un potencial fijo, de manera fiable y en lo posible durante un espacio de tiempo predecible, presenta una intensidad de la corriente más
65

elevada, en cuanto a la magnitud, que cualquiera de los dos bobinados de fases restantes. Esa propiedad, en el caso de la activación de una máquina eléctrica, puede determinarse en base al estado de carga y a las variables de control que, entre otras cosas, dependen del número de revoluciones objetivo y del número de revoluciones real, así como de las inductancias y de las tensiones inducidas. Las intensidades de corriente momentánea correspondientes pueden determinarse mediante varias mediciones en el circuito intermedio de tensión continua, donde es conocido el hecho de que en un primer momento se mide sólo la corriente a través de una de las fases, mientras que en un segundo momento se mide la corriente residual a través de varios bobinados de fases.

Si las intensidades de corriente momentánea no pueden determinarse de modo fiable mediante mediciones, entonces las mismas pueden estimarse o calcularse de forma estimada debido a las tensiones aplicadas en los bornes.

Según el diagrama de la figura 10 (véase allí la sección 2, 62) la primera conexión de fases de la fase W seleccionada se fija en el nivel de potencial superior del circuito intermedio de tensión continua, mientras que a los bobinados de fases U, V restantes se aplican impulsos de tensión modulados por ancho de pulso, los cuales están desplazados en cuanto a las fases, unos contra otros, en 180°. En la tercera sección 63 del diagrama se observa que en el caso de una intensidad de la corriente de 3A en la fase W, de una intensidad de la corriente de 1A en la fase V y de una intensidad de la corriente de -4A en la fase U, es decir, también en el caso de sentidos de la corriente diferentes en las fases a las que han aplicado impulsos, el número de los procesos de conmutación se encuentra reducido y también los espacios de tiempo, en los cuales respectivamente se encuentra presente una intensidad de la corriente constante en el circuito intermedio, son convenientemente extensos, de modo que está simplificada la medición de la intensidad de la corriente. En caso contrario, sin embargo, las variaciones de la intensidad de la corriente en el circuito intermedio, debido a esto, son elevadas de modo desfavorable, de manera que la intensidad de la corriente hasta el momento 65, como suma de la corriente de las fases U y W, asciende a -1A, entre los momentos 65 y 66 asciende a cero amperios, y entre el momento 66 y el momento 67, como suma de las corrientes en las fases V y W, asciende a 4A, para en el momento 67 descender nuevamente a 0 amperios y en el momento 68 a -1A. En esa configuración, el componente de corriente alterna en la carga del circuito intermedio de corriente continua es elevado de modo inconveniente, de manera que en esa situación mejor no tiene lugar un desplazamiento de fases entre los impulsos, que se aplican a las fases U y V.

En la cuarta sección 64 del mismo diagrama se muestra la situación para el caso de que la corriente en la fase W asciende a 4A, mientras que las corrientes en las fases U y V restantes ascienden a -3A, -1A, y de modo correspondiente presentan también el mismo sentido de la corriente. Lógicamente, no sólo se evitan corrientes negativas y el cambio de signo de la corriente, sino que también las fluctuaciones absolutas de la corriente son esencialmente más reducidas que en la variante mostrada en la tercera sección 63. En ese caso, que se muestra en la sección 64, es muy conveniente de este modo un desplazamiento de fases entre las fases U, V restantes, y protege el condensador en el circuito de tensión continua, El número de los procesos de conmutación está reducido al mínimo y se dispone de periodos relativamente prolongados sin una variación de la intensidad de la corriente en la fuente de corriente/tensión, en los cuales puede medirse la intensidad de la corriente total.

Lista de números de referencia

1	Neutro
2	Inductancia
3	Resistencia óhmica
45 4	Tensión inducida
5	Conexión de potencial a tierra
6	Potencial de tensión continua superior
7	Interruptor
8	Interruptor
50 9	Primera conexión del bobinado de fases, del bobinado de fases W
10, 11	Entradas de tensión de control
12	Primera conexión del bobinado de fases, del bobinado de fases U
13	Valor objetivo de tensión Uu
14	Valor objetivo de tensión Uv
55 15	Valor objetivo de tensión Uw
16	Línea en forma de diente de sierra, valor del contador de un contador digital
17	Segunda sección del diagrama de la figura 6
18	Momento en el diagrama de la figura 6
19	Momento en el diagrama de la figura 6
60 20, 21, 22	Tensiones que descienden mediante el bobinado de fases
23	Resistencia interna de la fuente de tensión
24	Inductancia propia de la fuente de tensión
25	Capacidad de la fuente de tensión
26	Conexión del potencial a tierra de la fuente de tensión
65 27	Resistencia shunt de la fuente de tensión
28	Tensión útil de la fuente de tensión

	29	Corriente de la fuente de tensión
	30	Primera conexión del bobinado de fases, del bobinado de fases V
	31, 32, 33	Conexiones del bobinado de fases en el caso de una conexión en triángulo
	34	Primer dispositivo de conmutación
5	35	Segundo dispositivo de conmutación
	36, 37, 38	Momentos en el diagrama de la figura 6
	39	Tercera sección del diagrama de la figura 6
	40	Cuarta sección del diagrama de la figura 6
	41	Línea horizontal, perfil de tensión constante
10	42	Segunda sección del diagrama de la figura 7
	43	Tercera sección del diagrama de la figura 7
	44	Cuarta sección del diagrama de la figura 7
	45, 46, 47, 48	Momentos en el diagrama de la figura 7
	49	Segunda sección del diagrama de la figura 8
15	50	Línea horizontal, perfil de tensión
	51	Tercera sección del diagrama de la figura 8
	52	Cuarta sección del diagrama de la figura 8
	53	Primera sección del diagrama de la figura 9
	54	Segunda sección del diagrama de la figura 9
20	55	Tercera sección del diagrama de la figura 9
	56	Cuarta sección del diagrama de la figura 9
	57	Línea en forma de diente de sierra, discontinua
	58	Línea en forma de diente de sierra
	59, 60, 61	Momentos en el diagrama de la figura 9
25	62	Segunda sección del diagrama en la figura 10
	63	Tercera sección del diagrama en la figura 10
	64	Cuarta sección del diagrama en la figura 10
	65, 66, 67, 68	Momentos en el diagrama de la figura 10
	69	Fuente de corriente/tensión
30	70	Dispositivo
	71	Sensor de posición
	U, V, W	Bobinados de fases

REIVINDICACIONES

- 5 1.Procedimiento para operar una máquina eléctrica rotativa sin escobillas, con al menos tres bobinados de fase (U,V,W) que presentan cada uno una primera (9,12,30) y una segunda conexión de bobinado fases, donde los bobinados de fase están conectados entre sí,
- donde a bobinados de fases (U,V,W) individuales, respectivamente de forma separada, se aplican señales de tensión moduladas por ancho de pulso,
 - 10 - donde al menos un bobinado de fases (U,V,W) seleccionado está conectado a un potencial eléctrico (5, 6) constante,
 - donde durante el periodo en el cual el bobinado de fases seleccionado (U,V,W) está conectado a un potencial eléctrico constante, los pulsos de las señales moduladas por ancho de pulso, que se aplican a los bobinados de fases (U,V,W) restantes, se desplazan unas contra otras en cuanto a las fases, en 180°, en función de los sentidos de la corriente en los bobinados de fases (U,V,W) restantes,
 - 15 - caracterizado porque las señales de tensión moduladas por ancho de pulso, que se aplican a los bobinados de fases (U,V,W) restantes, se desplazan unas contra otras en cuanto a las fases exclusivamente en los espacios de tiempo en los cuales las corrientes que circulan por los bobinados de fases (U,V,W) restantes tienen el mismo sentido de la corriente, con respecto a un punto de conexión eléctrico (1), en el cual al menos dos de los bobinados de fases (U,V,W) restantes están conectados entre sí.
- 20 2.Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque los valores momentáneos de las intensidades de corriente en los bobinados de fases (U,V,W) restantes y/o en el bobinado de fases (U,V,W) seleccionado se determinan a partir de una o de más mediciones de la intensidad de corriente de una fuente de corriente (69) en común que alimenta los bobinados de fases (U,V,W).
- 25 3.Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque se estiman los valores momentáneos de las intensidades de corriente en los bobinados de fases (U,V,W) restantes y/o en el bobinado de fases (U,V,W) seleccionado.
- 30 4.Máquina eléctrica rotativa sin escobillas operada según el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, con al menos tres bobinados de fase (U,V,W) que presentan cada uno una primera (9,12,30) y una segunda conexión de bobinado de fases, donde los bobinados de fases (U,V,W) están conectados entre sí,
- 35 - con un dispositivo de activación (34, 35, 69, 70) que está proporcionado y configurado para aplicar señales de tensión moduladas por ancho de pulso a los bobinados de fase (U,V,W), respectivamente de forma separada,
 - con un primer dispositivo de conmutación (34) que conecta un primer bobinado de fases seleccionado a un potencial eléctrico constante de una fuente de tensión,
 - 40 - con un dispositivo (70) para determinar intensidades de corriente en los bobinados de fases (U,V,W) restantes, así como
 - con un segundo dispositivo de conmutación (35) que está configurado, en función de los sentidos de la corriente en los bobinados de fases (U,V,W) restantes, para conectar y desconectar un desplazamiento de fases de las señales de tensión moduladas por ancho de pulso de 180°, en los bobinados de fases (U,V,W) restantes, de unas
 - 45 contra otras.

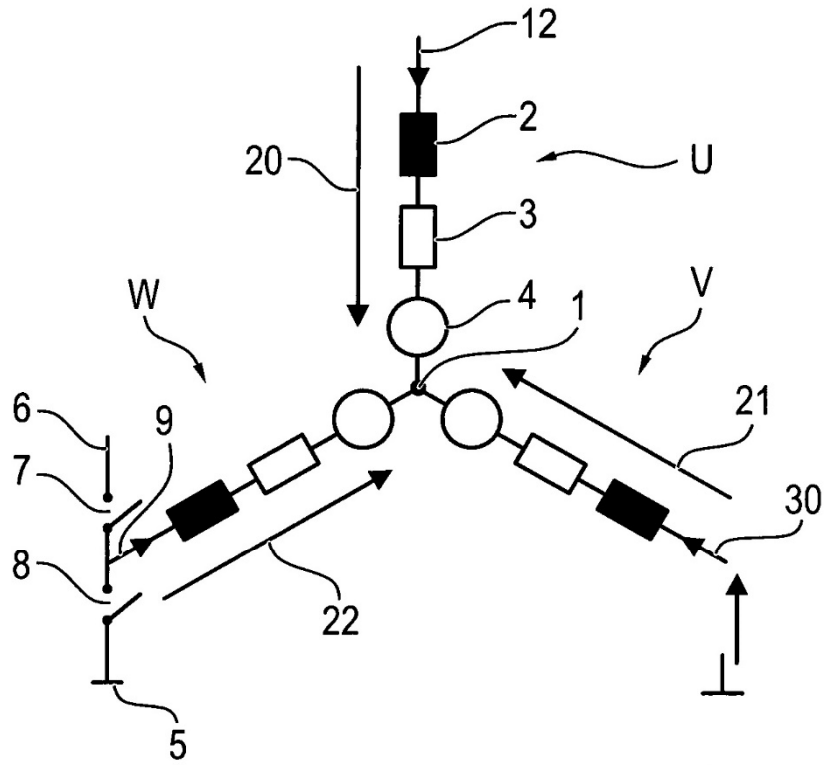


FIG. 1

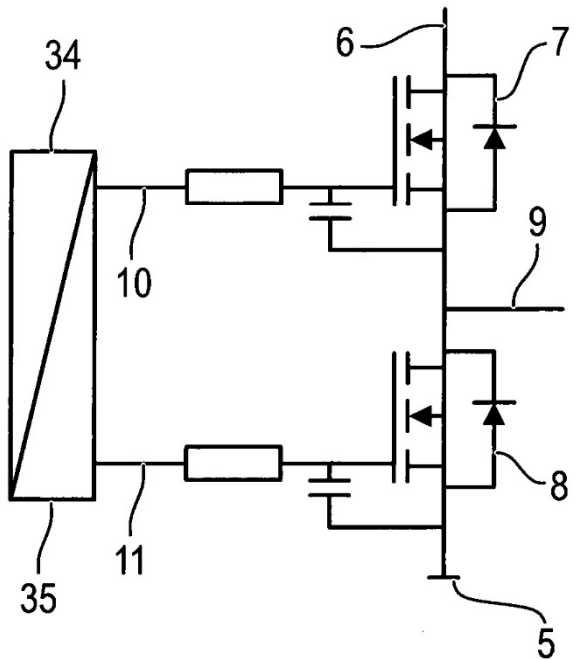


FIG. 2

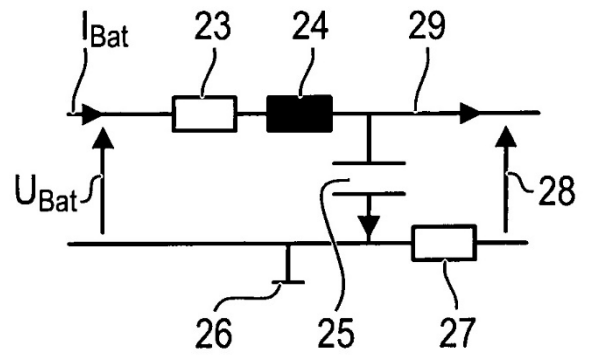


FIG. 3

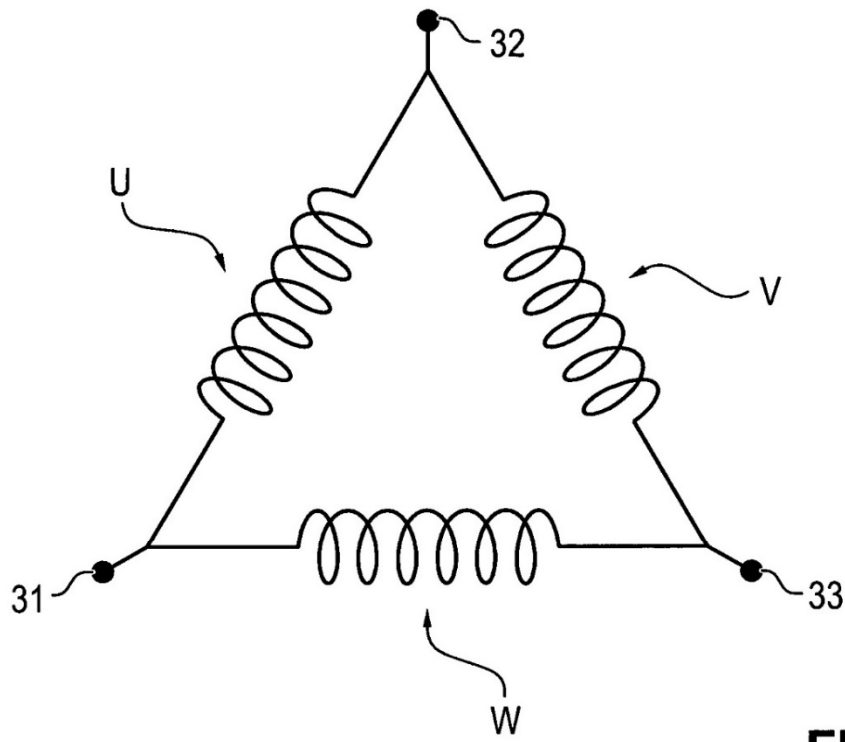


FIG. 4

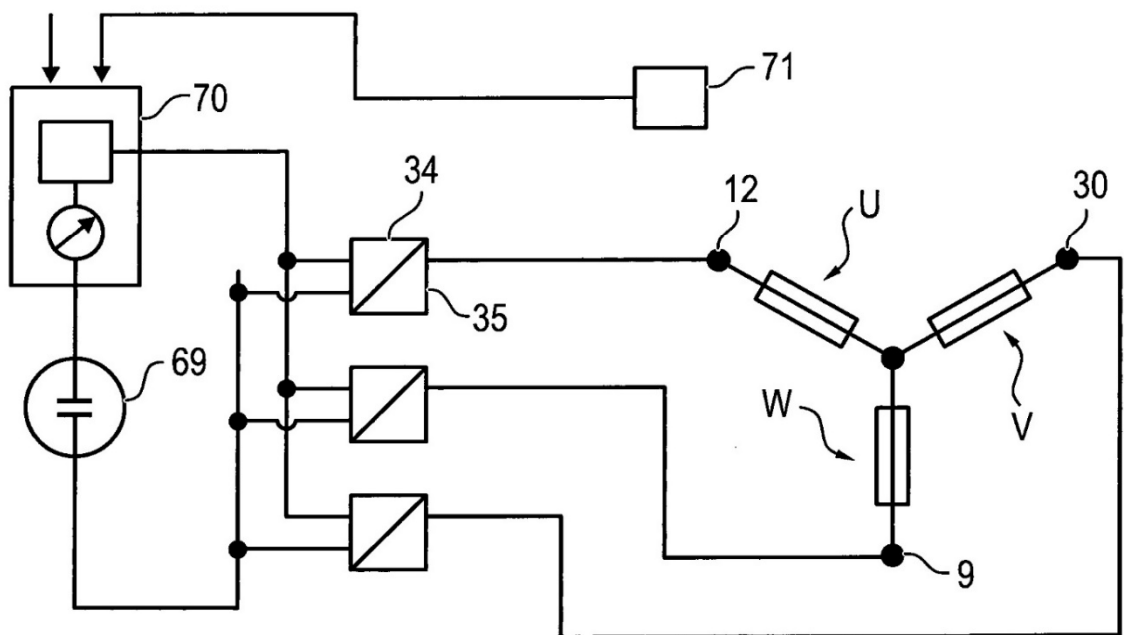


FIG. 5

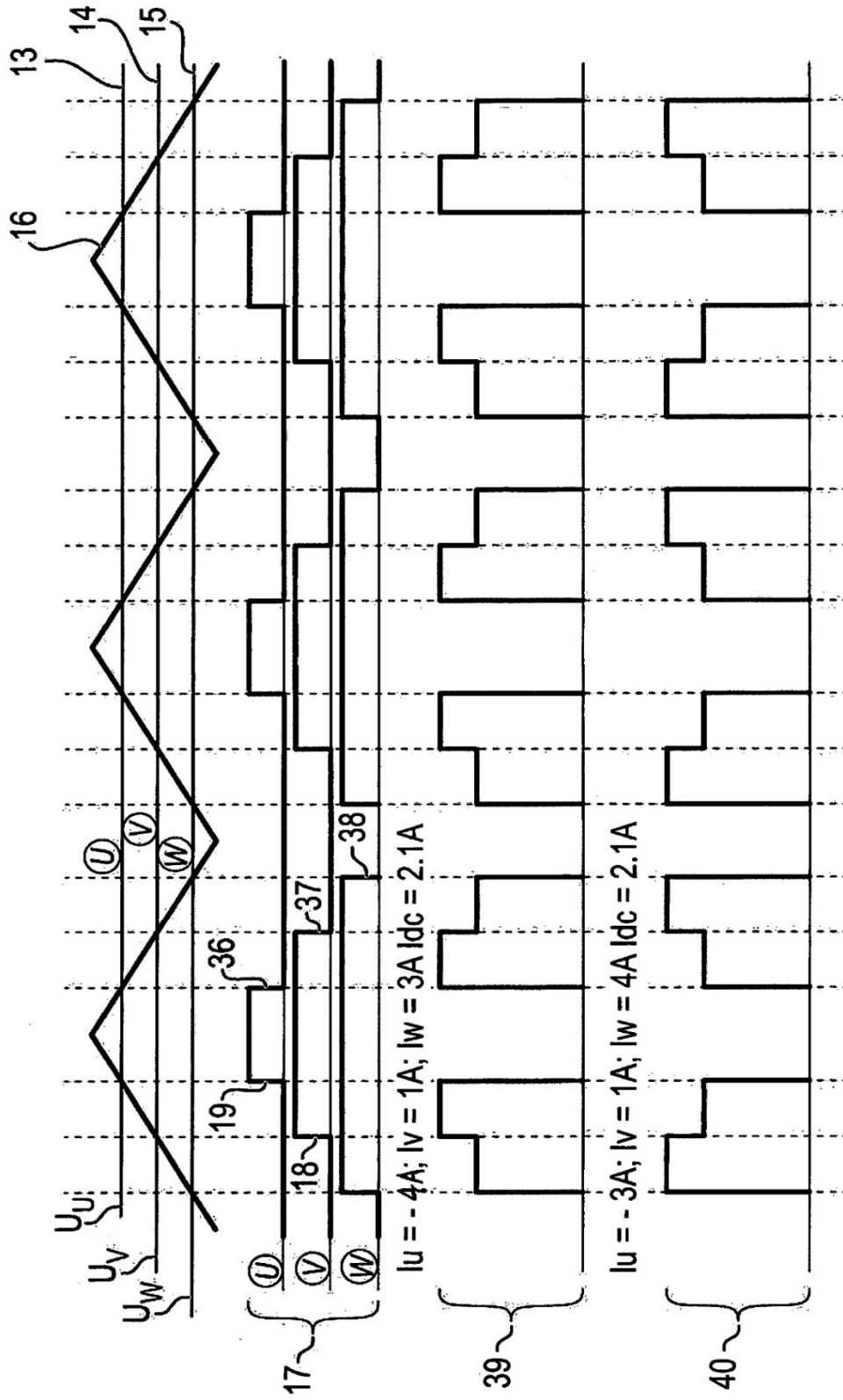


FIG. 6

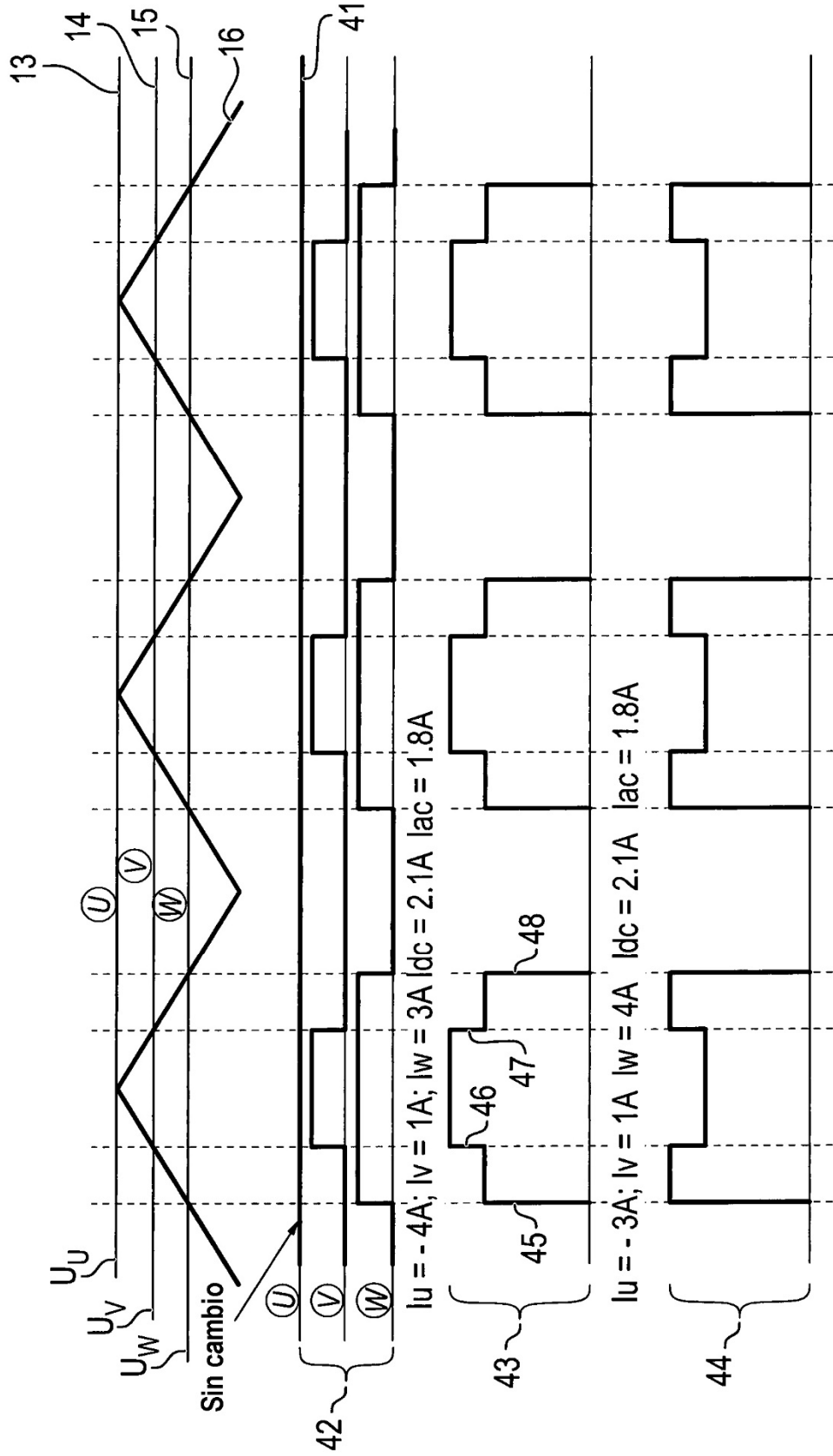


FIG. 7

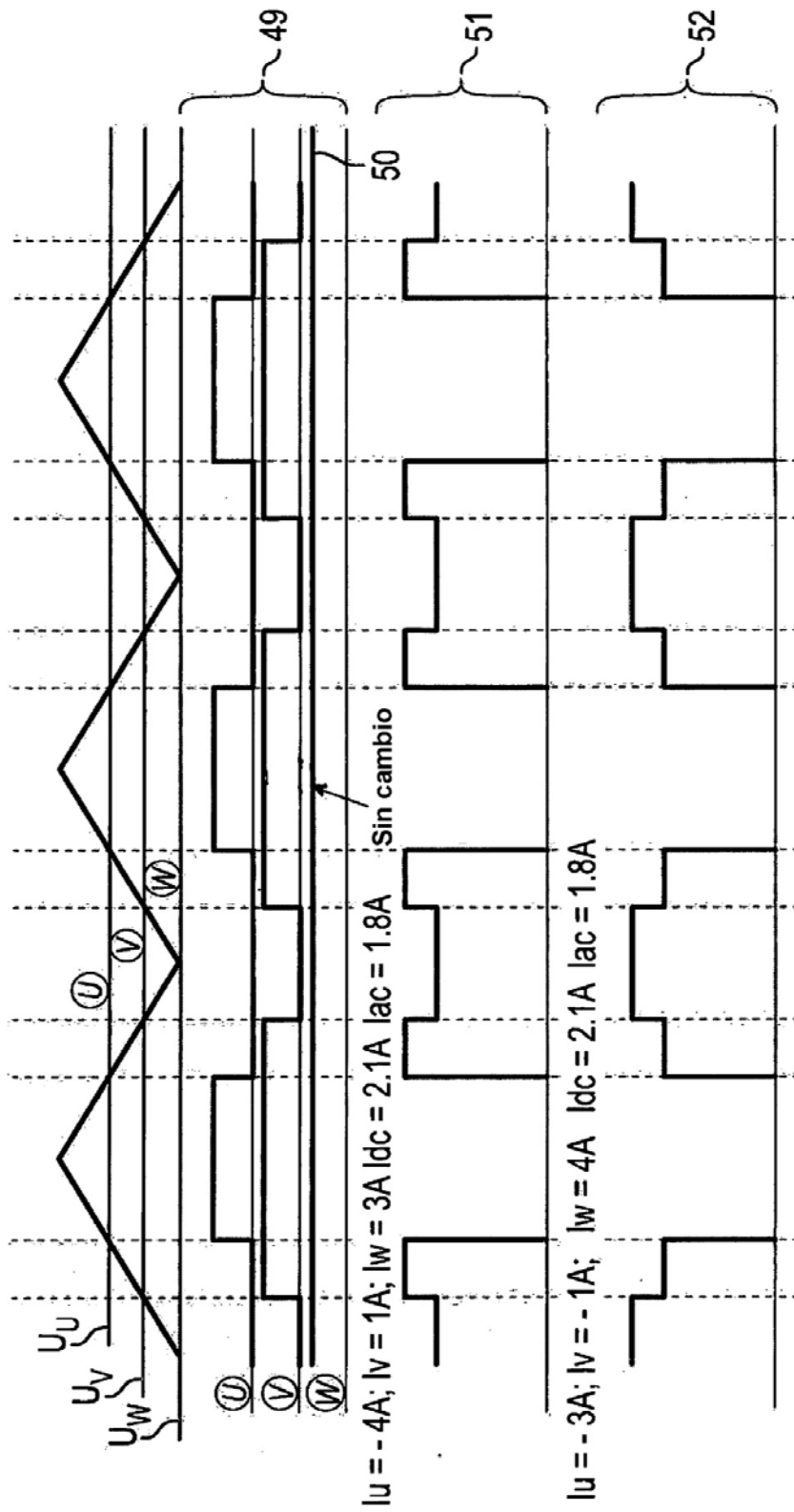


FIG. 8

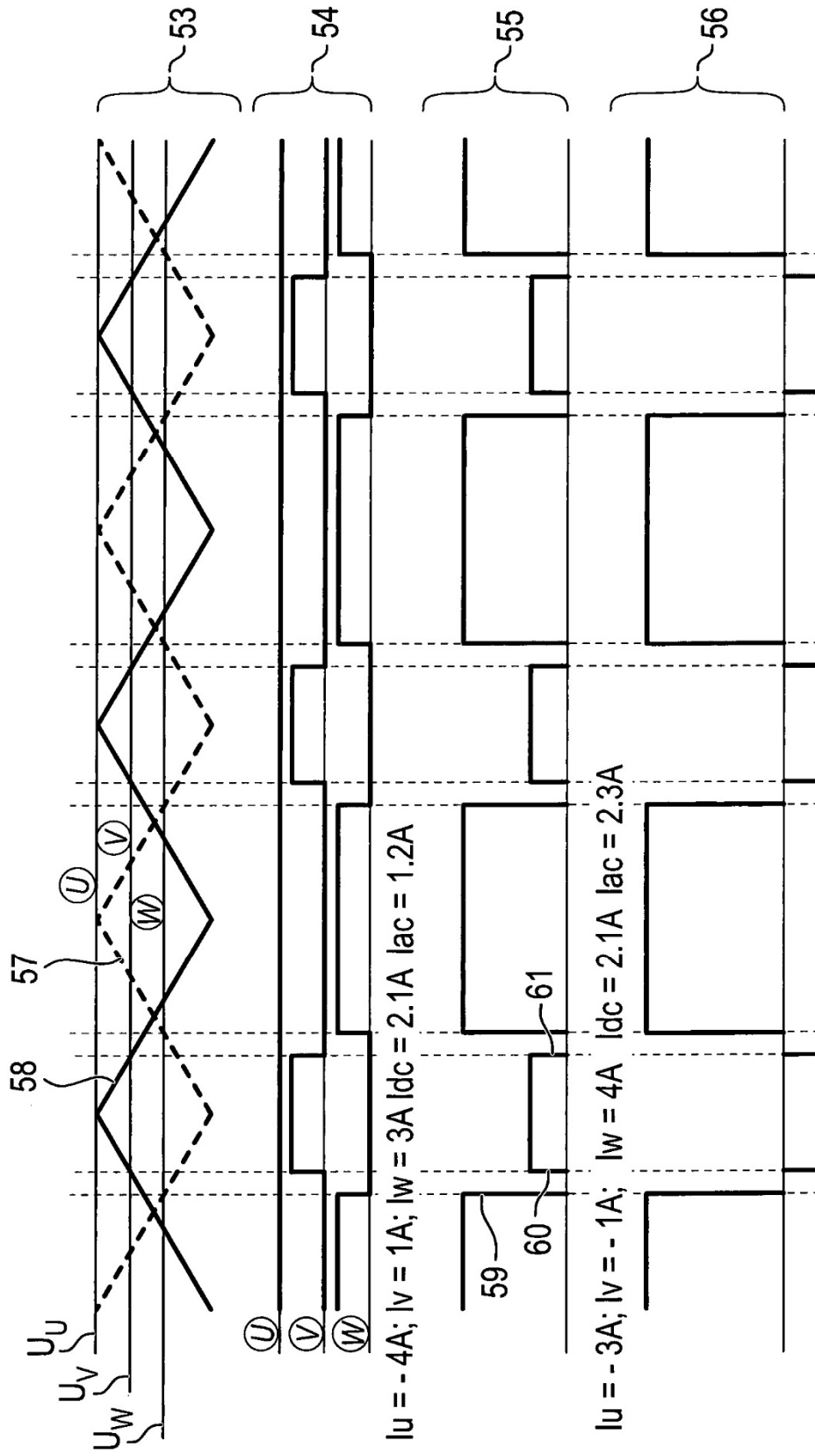


FIG. 9

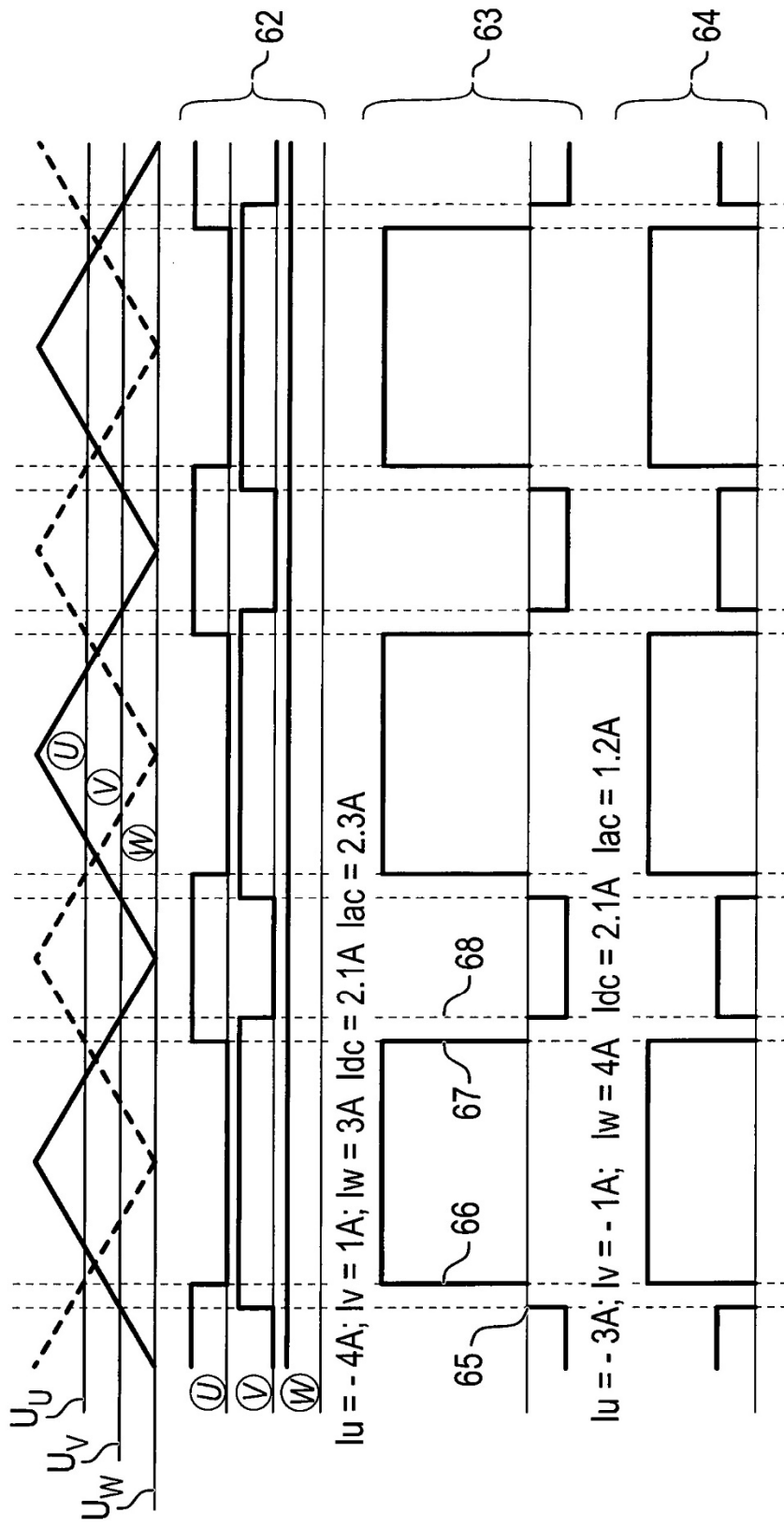


FIG. 10