

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 543 555**

51 Int. Cl.:

H02P 6/12 (2006.01)

H02P 6/18 (2006.01)

H02P 25/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.05.2011** **E 11722450 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.07.2015** **EP 2583379**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para la adaptación de una zona de número de revoluciones de un motor eléctrico**

30 Prioridad:

17.06.2010 DE 102010030240

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

20.08.2015

73 Titular/es:

BSH HAUSGERÄTE GMBH (100.0%)
Carl-Wery-Strasse 34
81739 München, DE

72 Inventor/es:

ABEL, FALKO y
WEIDNER, EBERHARD

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 543 555 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 y dispositivo para la adaptación de una zona de número de revoluciones de un motor eléctrico

La presente invención se refiere a un procedimiento así como a un dispositivo para la adaptación de una zona de número de revoluciones de un motor eléctrico.

- 5 Los motores de corriente continua sin escobillas, designados también como motores-BLDC (del inglés: brushless direct current motor), se utilizan, por ejemplo, como accionamiento de compresor en frigoríficos. El cometido del control del motor de un motor-BLDC es regular los instantes de las conmutaciones, de manera que el movimiento del rotor y los tiempos de las fases de las tensiones aplicadas sean sincrónicos y en fases. En el llamado funcionamiento sin sensor, se mide la fuerza del motor eléctrico, la EMK o bien la contra-EMK del motor y se
10 determina el punto de anulación de la EMK, para sacar a partir de ellos conclusiones sobre la posición del rotor y sobre la base de la posición calculada generar señales de control.

- La EMK se puede medir por medio de diferentes procedimientos. Una posibilidad sencilla es la reproducción de la tensión de los terminales sobre una punta de estrella artificial, en la que se puede medir la EMK después de la desmagnetización independientemente del estado de conmutación. Sin embargo, en este procedimiento es un
15 inconveniente el gasto de conmutación adicional condicionado por la punta de la estrella artificial y pérdidas más elevadas.

- Como procedimiento sin punta de la estrella adicional es posible utilizar el hecho de que dentro de los tiempos de desconexión de la activación modulada en la amplitud del impulso de los arrollamientos del motor, la tensión de los terminales del rotor sigue directamente la EMK. Los tiempos de desconexión de la modulación de la amplitud del
20 impulso (PWM) representan ventanas de medición, dentro de las cuales se pueden realizar las mediciones. La magnitud necesaria de estas ventanas de medición está determinada por la velocidad del convertidor-A/D para el procesamiento posterior de la señal de medición. Además, antes de la medición hay que esperar la desmagnetización del arrollamiento del motor. Por lo tanto, resulta otra ventana de medición, que está determinada a través del instante de la desmagnetización del arrollamiento del motor y por el instante de la conmutación
25 siguiente. No obstante, la duración de tiempo necesaria para la desmagnetización depende de la carga y se incrementa con la corriente absoluta. En efecto, la duración de tiempo de la desmagnetización se puede reducir a través de medidas de conmutación activas, pero, sin embargo, depende de la carga. En virtud de las escalas de tiempo en el retículo-PWM es difícil tener en cuenta esta dependencia del tiempo por medio de mediciones de la carga.

- 30 En el principio descrito anteriormente es necesario, por lo tanto, establecer un valor máximo para el número de revoluciones, que asegura que las ventanas de medición presentes con carga máxima y con número máximo de revoluciones estén siempre todavía dentro de un marco, que posibilita una medición de la EMK. Pero esto significa que la zona de número de revoluciones realmente posible no se agota totalmente con cargas más reducidas.

- Tampoco es posible incrementar el número de revoluciones en instantes de medición establecidos más allá de una cierta medida, puesto que entonces existe el peligro de que los puntos de anulación de la EMK sean reconocidos demasiado tarde o no sean reconocidos en absoluto y de esta manera se produce un basculamiento o bien una
35 inestabilidad del motor.

- La publicación DE 601 24 121 T2 propone explorar las tensiones en las tres fases del motor, tratarlas matemáticamente, sumarlas para obtener un parámetro, que es proporcionar al número de revoluciones del motor y entonces compararlas entre sí. El resultado de esta comparación determina el momento de la conmutación de las
40 fases.

La publicación DE 699 36 222 T2 publica un sistema y un procedimiento para la detección de la aparición de corrientes punta en motores eléctricos, que solamente utiliza un detector de corriente, que está ajustado a un valor límite.

- 45 La publicación DE 698 03 885 T2 publica un dispositivo de control para motores eléctricos, en el que una unidad de control predetermina para las instalaciones de conmutación una frecuencia de conmutación y una duración de la conmutación, que establecidas de tal forma que el valor de la tensión, que se aplica realmente en los arrollamientos, es aquél que corresponde independientemente del estado de conmutación de las instalaciones de conmutación al número de revoluciones y al par motor, que son requeridos por el motor eléctrico.

- 50 La publicación DE 699 36 222 T2 publica un sistema y un procedimiento para la protección de un motor eléctrico y su circuito de activación.

Se conoce a partir del documento US 6.184,645 B1 un regulador para un actuador, que se puede desplazar alrededor de un eje de articulación entre dos topos. Para la regulación se utiliza la EMK de apoyo.

A partir del documento US 4.865.356 se conoce un circuito de conmutación para un motor de corriente continua, que está en conexión con medios para la exploración de una EMF. En este caso, un microcontrolador provoca que la duración de la pausa sea tan larga que son posibles mediciones.

5 El documento JP 6- 307905 se refiere a medidas para reducir en un medidor de flujo electromagnético el desarrollo de ruido y mejorar la relación entre la señal de interferencia y la señal útil.

El documento EP 1 109 309 A1 D4 publica la supervisión de la posición sin sensor de motores eléctricos de reluctancia, en el que se detecta un pico de una corriente de fases y a partir de ello se determina la posición del rotor.

10 Por lo tanto, un cometido de la presente invención es preparar un procedimiento y un dispositivo para una adaptación de la zona del número de revoluciones de un motor eléctrico, con los que se puede agotar mejor la zona del número de revoluciones posible del motor eléctrico, sin que se produzca un basculamiento del motor.

De acuerdo con una configuración se prepara un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 para la adaptación de la zona del número de revoluciones de un motor eléctrico hasta un número de revoluciones máximo físicamente posible, con las siguientes etapas:

- 15 - realización de un número de mediciones de una magnitud de medición, que es indicativa de una fuerza electromotriz del motor eléctrico, dentro de un periodo de tiempo predeterminado;
- cálculo del número de las mediciones realizadas dentro de la duración de tiempo predeterminada;
- adaptación de un valor numérico en función del número calculado; y
- 20 - Adaptación de un número de revoluciones máximo admisible del motor eléctrico en función del valor numérico calculado.

Con este procedimiento es posible una adaptación dinámica de la zona del número de revoluciones a las condiciones de funcionamiento del motor eléctrico, de manera que con diferentes cargas se puede aprovechar óptimamente la zona del número de revoluciones.

25 Las mediciones de la magnitud de medición se pueden realizar, respectivamente, dentro de la duración de tiempo predeterminada hasta que se cumple un criterio para el reconocimiento de un punto de anulación de la fuerza electromotriz. Sobre la base del punto de anulación reconocido de esta manera de la fuerza electromotriz se puede provocar de esta manera la siguiente conmutación.

El procedimiento puede presentar, además, las siguientes etapas:

- 30 - incremento del valor numérico de un contador de aparición de eventos, en el caso de que el número calculado de mediciones no alcance un primer valor límite,
- decremento o reducción del valor numérico del contador de aparición de eventos, en el caso de que el número calculado de mediciones exceda el primer valor límite, y
- adaptación del número máximo admisible de revoluciones en función del valor numérico del contador de aparición de eventos.

35 Dicho con mayor exactitud, el número máximo admisible de revoluciones se puede reducir en el caso de que el valor numérico del contador de aparición de eventos exceda un segundo valor límite, y se puede incrementare el número máximo admisible de revoluciones en el caso de que el valor numérico del contador de aparición de eventos no exceda un segundo valor límite. Si se decrementase o bien se redujese siempre el número máximo de revoluciones, en el caso de que el número calculado de mediciones no alcance un valor crítico determinado, y si se incrementase

40 o se ampliase, en el caso de que el valor calculado de mediciones exceda este valor crítico, entonces el sistema oscilaría fácilmente en torno a este valor crítico. Con estas etapas adicionales del procedimiento es posible ampliar todavía más la zona del número de revoluciones del motor eléctrico, puesto el número de revoluciones solamente se reduce cuando el número de las mediciones por periodo eléctrico cae de forma duradera y no sólo una vez por debajo del primer valor límite.

45 También es posible prever que el número máximo admisible de revoluciones solamente se incremente bajo la condición de que el número calculado de mediciones exceda un tercer valor límite, que es mayor que el primer valor límite. De esta manera, se prevé una histéresis, que impide oscilaciones del sistema o al menos las amortigua. De esta manera, se realiza una aproximación lenta al par motor máximo posible, en la que el motor no bascula precisamente todavía.

50 También es posible prever que el número máximo admisible de revoluciones solamente se incremente bajo la

condición de que el valor número del contador de aparición de eventos no exceda el segundo valor límite durante un periodo de tiempo predeterminado.

El contador de aparición de eventos se puede reponer, por ejemplo a través de una reposición del valor numérico del contador de aparición de eventos a cero.

- 5 La magnitud de medición puede ser, por ejemplo, una tensión de los terminales del motor eléctrico. La tensión de los terminales del motor eléctrico es adecuada para la determinación del punto de anulación de la contra-EMK, puesto que su desarrollo corresponde por secciones al desarrollo de la contra-EMK.

- 10 El motor eléctrico puede estar formado, por ejemplo, como motor síncrono, especialmente como motor de corriente continua sin escobillas. En este caso, la duración de tiempo predeterminada puede corresponder a un periodo eléctrico del motor eléctrico. De manera alternativa a ello, la duración de tiempo predeterminada puede corresponder al menos a una ventana de medición entre desmagnetización y conmutación de una sección de arrollamiento del motor eléctrico.

- 15 El número de los mensajes para el reconocimiento del punto de anulación de un flanco ascendente de la contra-EMK y el número de las mediciones para el reconocimiento del punto de anulación de un flanco descendente de la contra-EMK se pueden contabilizar por separado, cuyos valores numéricos se suman a continuación. En este caso, los valores numéricos de los contadores se suman ponderados. De esta manera es posible tener en cuenta diferencias cualitativas en las mediciones con el flanco ascendente y descendente.

La fuerza electromotrices especialmente una contra-EMK inducida durante la rotación del motor eléctrico en una de las secciones de arrollamiento.

- 20 Un dispositivo para la adaptación de una zona de número de revoluciones de un motor eléctrico, que está instalado para realizar el procedimiento descrito anteriormente, puede estar configurado, por ejemplo, como control del motor. Este dispositivo se define a través de las características de la reivindicación 15.

- 25 El motor eléctrico puede utilizarse, por ejemplo, como accionamiento para un compresor, en particular en un aparato de refrigeración. Por un aparato de refrigeración se entiende especialmente un aparato de refrigeración doméstico, es decir, un aparato de refrigeración, que se emplea para la administración doméstica en viviendas o eventualmente también en el sector de la gastronomía, y en particular sirve para almacenar productos alimenticios y/o bebidas en cantidades habituales en la vivienda a determinadas temperaturas, como por ejemplo un frigorífico, un armario de bebidas, una combinación de frigorífico y congelador, una caja de refrigeración o un armario de almacenamiento de vío.

- 30 Otras características y ventajas de la invención se deducen a partir de la descripción siguiente de ejemplos de realización con referencia a las figuras adjuntas. En este caso:

La figura 1 muestra un diagrama equivalente de un motor eléctrico 100, que está configurado como motor de corriente continua sin escobillas o bien como motor-BLDC.

- 35 La figura 2 muestra un grafo, que representa la curva de la señal de la corriente del motor y de la contra-EMK así como los estados de conmutación de los conmutadores T1 a T6.

La figura 3 muestra de forma esquemática la curva de la tensión de los terminales en una sección de arrollamiento, de la contra-EMK inducida en la sección de arrollamiento, así como en la corriente de arrollamiento a través de la sección de arrollamiento.

La figura 4 muestra un diagrama, que ilustra un modo de corriente y un modo de tensión.

- 40 La figura 5 muestra un diagrama de flujo de un procedimiento para la adaptación de la zona del número de revoluciones del motor eléctrico.

Si no se indica otra cosas, los mismos signos de referencia en las figuras designan los mismos elementos o elementos de la misma función.

- 45 La figura 1 muestra un diagrama equivalente de un motor eléctrico 100, que está configurado como motor de corriente continua sin escobillas o bien como motor-BLDC y se puede utilizar, por ejemplo, como accionamiento de compresor en un frigorífico. El motor eléctrico 100 presenta una alimentación de tensión 110, un puente inversor 120, tres arrollamientos del motor o bien secciones de arrollamiento 130U, 130V, 130W y un control del motor 160.

- 50 La alimentación de la tensión 110 acondiciona una tensión de circuito intermedio entre un potencial de alimentación de circuito intermedio y una masa de circuito intermedio. El puente inversor 120 presenta seis conmutadores T1 a T6, que están dispuestos en forma de un puente-B6 y que suministran corriente a las secciones del arrollamiento 130U, 130V y 130W. Dicho con más precisión, respectivamente, dos conmutadores T1 y T2, T3 y T4 o bien T5 y T6

están conectados en serie entre el potencial de alimentación del circuito intermedio y la masa de circuito intermedio. Los nodos entre los conmutadores T1 y T2, T3 y T4 o bien T5 y T6 están conectados, respectivamente, con un lado de las secciones de arrollamiento 130U, 130V y 130W. En su otro lado, las secciones de arrollamiento 130U, 130V y 130W están conectadas con una punta de estrella 140. Además, entre el puente inversor 120 y la alimentación de la tensión 110 está prevista una resistencia sobre lados de la masa de circuito intermedio.

Los conmutadores T1 a T6 pueden comprender, por ejemplo, respectivamente, un transistor de potencia y un diodo de marcha libre conectado en paralelo. Los conmutadores T1 a T6 son activados por medio de señales de control X1 a X6, que son acondicionadas por un control de motor 160. En este caso, las secciones de arrollamiento 130 están activadas de tal forma que se genera un campo magnético giratorio, en el que gira un rotor que comprende un imán permanente. El motor eléctrico 100 es, por lo tanto, un motor síncrono de imán permanente de tres secciones, que es alimentado con una tensión trifásica por medio del puente inversor-B6 120.

La figura 2 es un diagrama, que representa de forma esquemática la curva de la señal de la corriente del motor y de la contra-EMK así como los estados de conmutación de los conmutadores T1 a T6. En este caso, las líneas continuas en negrilla representan los estados de conmutación de los conmutadores T1 a T6, las líneas de trazos representan las corrientes del arrollamiento Iu, Iv y Iw a través de las secciones de arrollamiento 130U, 130V y 130W, y las líneas continuas finas representan las contra-EMKs Eu, Ev, Ew, que se generan en las secciones de arrollamiento 130U, 130V y 130W. El diagrama en la figura 2 muestra en este caso la curva durante un periodo eléctrico T, que está dividido, por su parte, en seis periodos parciales de la duración de tiempo T/6, que corresponden, respectivamente, a una sección de 60°. Las tres secciones de arrollamiento 130U, 130V y 130W son activadas, respectivamente, con un desplazamiento de 120°. Durante el primer periodo parcial, los conmutadores T1 y T4 están conectados o bien están conectados de forma conductora y todos los demás conmutadores están desconectados o bien están conectados de forma no conductora, de manera que la corriente del motor Im fluye a través de la sección de arrollamiento 130U a través de la punta de la estrella 140 sobre la sección de arrollamiento 130V hacia la masa de circuito intermedio. Al término de este primer periodo parcial se realiza una conmutación desde la sección de arrollamiento 130V sobre la sección de arrollamiento 130W, desconectando el conmutador 4 y conectando el conmutador T6. Durante este segundo periodo parcial, los conmutadores T1 y T6 están conectados, de manera que la corriente del motor Im fluye a través de la sección de arrollamiento 130U a través de la punta de la estrella 140 sobre la sección de arrollamiento 130W hacia la masa de circuito intermedio. Al término de este segundo periodo parcial se realiza una segunda conmutación desde la sección de arrollamiento 130U sobre la sección de arrollamiento 130V, desconectando el conmutador T1 y conectando el conmutador T3. Durante este segundo periodo parcial, los conmutadores T3 y T6 están conectados, de manera que la corriente del motor Im fluye a través de la sección de arrollamiento 130V a través de la punta de la estrella 140 sobre la sección de arrollamiento 130W hacia la masa de circuito intermedio. De acuerdo con este patrón, por lo tanto, siempre dos de las secciones de arrollamiento 130 con conductoras de corriente, y la tercera sección de arrollamiento 130 está sin corriente. En este caso, cada sección de arrollamiento individual 130 está conectada sucesivamente para $2 \times 60^\circ = 120^\circ$ en el potencial de alimentación de circuito intermedio, luego se conecta para 60° sin corriente, luego se conecta para $2 \times 60^\circ = 120^\circ$ en la masa de circuito intermedio y luego se conecta de nuevo para 60° sin corriente.

Por cada periodo eléctrico T se activan, por lo tanto, seis estados de conmutación, resultando el periodo eléctrico T a partir de

$$T = 1 / (p \times n) \quad (1)$$

en la que n corresponde al número de revoluciones y p corresponde al número de parejas polares del motor.

El control del motor 160 regula los instantes de las conmutaciones, de manera que el movimiento del rotor y los tiempos de las fases de las tensiones aplicadas están sincronizados y en fase. En este caso, a partir de la contra-EMK del motor, es decir, a partir de las tensiones inducidas por el campo magnético del rotor en las secciones de arrollamiento 130 del estator se deduce la posición del rotor. Una variable característica a este respecto es el punto de anulación de la contra-EMK, que se identifica en la figura 2, respectivamente, con "Z". La conmutación se puede provocar con demora, por ejemplo, en una duración de tiempo predeterminada, después del punto de anulación reconocido, de manera que esta duración de tiempo puede ser dependiente del número de revoluciones y/o de la carga. En la figura 2 se identifican con "C", respectivamente, los instantes de la conmutación. Además, en la figura 2 se puede reconocer que la corriente del arrollamiento presenta una inercia condicionada por la inductividad de la bobina del arrollamiento. De esta manera, se eleva la corriente Iu a través de la sección de arrollamiento 130U durante la conexión del conmutador T1 durante un periodo de tiempo de subida determinado, y durante la conexión del conmutador T1 cae la corriente Iu a cero durante un periodo de tiempo, que corresponde al periodo de tiempo de la desmagnetización de la sección de arrollamiento 130U. Solamente en el instante "D", la corriente del arrollamiento se ha atenuado a cero. La conmutación está identificada, por ejemplo, a través de los tres eventos D, Z y C, es decir, el instante D de la desmagnetización del sección que conduce previamente corriente, el instante Z del reconocimiento del punto de anulación y el instante C de la conmutación disparada activamente después de un tiempo predeterminado.

La figura 3 muestra de forma esquemática la curva de la tensión de los terminales Uv en la sección de arrollamiento 130V, de la contra-EMK Ev inducida en la sección de arrollamiento 130V así como la corriente de arrollamiento Iv a través de la sección de arrollamiento 130V. Las curvas han sido tomadas de una simulación. En la corriente de arrollamiento Iv se pueden reconocer claramente las seis secciones parciales del periodo eléctrico: 60° de corriente negativa en fase con una de las otras dos fases, 60° ninguna corriente, 60° corriente positiva en fase con una de las otras dos fases, 60° de corriente positiva en fase con la otra de las otras dos fases, 60° ninguna corriente y 60° de corriente negativa en fase con la otra de las dos fases. Como se puede reconocer claramente en la figura 3, en primer lugar fluye una corriente a través de la sección de arrollamiento 130U hacia la punta de la estrella y sobre la sección de arrollamiento 130V hacia la masa de circuito intermedio. Con la primera conmutación se abre el conmutador T4 y se cierran los dos conmutadores T1 y T6. En este estado, la inductividad de la sección de arrollamiento 130V trata de mantener la corriente Iv y ésta fluye de retorno sobre el diodo de marcha libre del conmutador T3. La corriente del arrollamiento Iv se eleva, por lo tanto, a cero durante un periodo de tiempo, que corresponde a la desmagnetización de la sección de arrollamiento 130V. Durante este periodo de tiempo, la tensión de los terminales Uv está fijada a través del diodo de marcha libre de conducción de corriente sobre la tensión de alimentación, por ejemplo 5 V. Después de la atenuación de la corriente a través de la sección de arrollamiento 130V cae también la tensión de los terminales Uv. Sigue una ventana de tiempo o bien ventana de medición Tm1, durante la que la curva de la tensión de los terminales Uv corresponde a la curva de la contra-EMK a medir. En esta ventana de medición Rm1 se encuentra también un punto de anulación de la contra-EMK, que coincide con la curva de la tensión de los terminales en la mitad de la tensión del circuito intermedio.

Durante la ventana de medición Tm1, la tensión de los terminales adopta una curva similar a la forma de dientes de sierra. Esto se debe a que en este periodo de tiempo tiene lugar un flujo de corriente a través de las secciones de arrollamiento 130U y 130W en virtud de una activación-PWM de los conmutadores T1 y T6. Por lo tanto, se conmutan los conmutadores T1 y T6 de forma alterna, con lo que se extrae potencial de la punta de la estrella alternando alto en dirección 5V y bajo en dirección de la masa del circuito intermedio. Una medición de la tensión de los terminales Uv o bien de la contra-EMK Ev solamente es posible en este caso en los tiempos en los que el conmutador T3 está desconectado, como se explicará todavía en detalle más adelante.

La ventana de tiempo Tm1 termina con una conmutación, que conecta la sección de arrollamiento 130V con el potencial de alimentación del circuito intermedio, de manera que la sección de arrollamiento 130V se activa con una tensión modulada en la amplitud del impulso, como se explica más adelante. Después de otros 60° se lleva a cabo la conmutación en una de las otras dos secciones, de manera que la corriente en este instante presenta una forma modificada. Después de otros 60° se lleva a cabo otra sección sin corriente, de manera que también aquí se puede observar en primer lugar una caída de la corriente a cero durante la desmagnetización, seguido por una reproducción de la contra-EMK.

La regulación de la alimentación de la corriente hacia los arrollamientos del motor se realiza a través de una modulación de la anchura del impulso, PWM. En este caso, el "ciclo de trabajo" se utiliza como medida para la duración de la conexión relativa de la tensión de los terminales modulada en la anchura del impulso PWM. El ciclo de trabajo es la relación entre la duración de la conexión y el tiempo de sincronización y tiene, por lo tanto, un valor entre 0 % y 100 %. La PWM para la activación del motor eléctrico 100 puede realizarse en el modo de corriente o en el modo de corriente o en el modo de tensión. La figura 4 muestra un diagrama, que ilustra ambos procedimientos, de manera que el modo de corriente se representa en la mitad izquierda y el modo de tensión se representa en la mitad derecha del diagrama.

Ambos procedimientos tienen en común que, por ejemplo, en el control del motor 160 un contador no representado en detalle genera valores de referencia o bien valores numéricos, que son incrementados a partir de un valor de partida Z0 hasta un valor máximo Zmax, de manera que resulta, considerado sobre el tiempo, un patrón triangular o bien un desarrollo de forma triangular.

En el modo de corriente se regula la corriente del motor por medio de un circuito comparador en el procedimiento de dos puntos. Si el valor numérico del contador alcanza el valor comparativo Z_cm, entonces se lleva a cabo la conexión de la tensión modulada en la anchura del impulso. En el modo de corriente resulta el ciclo de trabajo a través del instante de la desconexión del impulso-PWM a través del circuito de activación. Dicho con mayor exactitud, por ejemplo, se pueden alimentar a un comparador de la corriente la corriente teórica y la corriente real momentánea. Si la corriente real alcanza la corriente teórica, entonces se lleva a cabo la desconexión de la tensión modulada en la anchura del impulso. La figura 3 muestra a modo de ejemplo una activación en el modo de corriente. Como se puede reconocer en la figura 3, la activación de la sección de arrollamiento 130V se realiza después de la segunda conmutación, de manera que la corriente real está en primer lugar por debajo de la corriente teórica, de modo que existe un ciclo de trabajo de 100 %. Si la corriente real alcanza la corriente teórica, entonces se lleva a cabo de manera automática una bajada del ciclo de trabajo y se puede reconocer el patrón-PWM característico.

En cambio, en el modo de tensión se calcula desde el control del motor 160 una tensión teórica y se imprime la

duración de conexión elativa de la PWM . Esto se puede realizar porque el control del motor 160 determina un valor comparativo Z_{vm} y lo compara con el valor de recuento actual, de manera que se realiza una conexión de la tensión-PWM, cuando el valor numérico Z es mayor o igual que Z_{vm} y menos o igual que Z_{max} .

Con otras palabras, en el modo de corriente se imprime el par motor y en el modo de tensión el número de revolucione. La selección del modo de funcionamiento se realiza en función del comportamiento de carga y de los requerimientos planteados al motor eléctrico 100. Según si se desean constancia alta del número de revoluciones, desarrollo bajo de ruido, vibraciones o eficiencia energética, se selecciona el tipo de funcionamiento correspondiente. En este caso, el tipo de funcionamiento se puede establecer durante la conexión del motor eléctrico, o también se puede conmutar en función de las condiciones de funcionamiento. También es posible una mezcla de los tipos de funcionamiento.

Además, ambos procedimientos tienen en común que la medición de la contra-EMK debe realizarse dentro de una ventana de medición delante del flanco ascendente de la tensión modulada-PWM. De esta manera resulta una ventana de tiempo o bien ventana de medición T_{m2} , durante la cual debe medirse la tensión de los terminales U_v . La figura 5 ilustra a modo de ejemplo la activación del conmutador T1, que determina el flujo de corriente a través de la sección de arrollamiento 130U, dentro de la ventana de tiempo T_{m1} , de manera que el lazo izquierdo en la figura ilustra el modo de corriente. Los instantes t_1 , t_2 y t_3 representan instantes de medición posibles. El tamaño mínimo de esta ventana de medición T_{m2} se determina a través de un tiempo de demora y a través de la velocidad del convertidor-AD para la medición. De esta manera en el modo de corriente después de un flanco-PWM descendente se espera en primer lugar un tiempo de demora de por ejemplo 4 μs , que corresponde al valor numérico Z_{delay} . Además, entre la medición y el flanco-PWM debe preverse un periodo de tiempo determinado de por ejemplo 20 μs , que corresponde al tiempo de reacción del convertidor-AD para la medición. Puesto que en el modo de corriente está fijado el flanco-PWM ascendente, también el tamaño de la ventana de medición T_{m2} está fijado y la medición puede tener lugar siempre en un instante, que corresponde al valor numérico Z_{delay} . En cambio, el instante del flanco-PWM ascendente, que corresponde al valor numérico Z_{vm} , depende en el modo de tensión de las condiciones de funcionamiento, de manera que la ventana de tiempo de medición en el modo de tensión es variable. De esta manera, es posible fijar el instante de la medición, que corresponde al valor numérico $Z_{trigger-vm}$, con una "distancia de seguridad" mayor desde los flancos-PWM, por ejemplo en el instante, que corresponde a $(Z_{vm} - Z_0) / 2$.

Si se eleva ahora durante la regulación descrita anteriormente el número de revoluciones, entonces se eleva, por una parte, el ciclo de trabajo y se amplían los impulsos-PWM representados en la figura 4, permaneciendo, sin embargo, igual el tiempo del ciclo-PWM. Por otra parte, se acorta el periodo eléctrico T inversamente proporcional al número de revoluciones y de esta manera también la ventana de medición T_{m1} , ver la figura 3. En el caso límite, se alcanza un estado, en el que la ventana de medición T_{m1} es tan corta que solamente es posible todavía una única medición de la tensión de los terminales por cada flanco-EMK. La conmutación se realiza entonces a una distancia establecida después de esta medición. En este caso límite, a partir de la regulación se obtiene de esta manera un control y existe el peligro de que el motor bascule. En concreto, es posible establecer el número de revoluciones máximo admisible en un valor, que permite también en condiciones de carga extremas un funcionamiento seguro sin basculamiento del motor, pero esto tiene el inconveniente de que casi no se puede aprovechar de nuevo la zona del número de revoluciones físicamente posible en la carga real.

El procedimiento descrito a continuación se basa en la idea de supervisar el número de las mediciones realizadas de la contra-EMK o bien de una magnitud indicativa de ésta y de asegurar que se realiza al menos un número predeterminado de mediciones o, expresado de otra manera, que la ventana de medición T_{m1} representada en la figura 3 entre desmagnetización y conmutación es suficientemente grande.

La figura 5 muestra un diagrama de flujo de este procedimiento para la adaptación de la zona del número de revoluciones del motor eléctrico 100. En el procedimiento representado, se calcula la contra-EMK con la ayuda de una medición de la tensión de los terminales U_v en la sección de arrollamiento 130V, pero evidentemente también es posible aproximar una o varias de las otras secciones de arrollamiento.

En la etapa S10 se inicializa un número de revoluciones máximo admisible N_{max} , en el presente caso, por ejemplo, sobre 2000 rpm. Este número máximo admisible de revoluciones es una variable depositada, por ejemplo, en una memoria en el aparato de control 160, que se ajusta a través del presente procedimiento en función de las condiciones momentáneas de funcionamiento, como por ejemplo la carga, y que es menor o igual que el número de revoluciones máximo físicamente posible del motor. El aparato de control 160 regula en este caso el número de revoluciones del motor eléctrico 100, de tal manera que el número de revoluciones real no excede el número de revoluciones máximo admisible N_{max} .

En la etapa S20 se inicializan los contadores de medición Z_{rf} , Z_{ff} y el contador de aparición de eventos Z_{event} a cero. Los contadores de medición Z_{rf} , Z_{ff} cuentan, respectivamente, el número de las mediciones realizadas con flanco ascendente y flanco descendente de la contra-EMK. El contador de aparición de eventos Z_{event} se explica

más adelante.

En la etapa S30 se espera que la desmagnetización haya concluido después de la primera conmutación, lo que se puede reconocer en que la corriente de arrollamiento I_v alcanza el valor 0.

- 5 En la etapa S40 se mide la tensión de los terminales U_v , de manera que el instante de esta medición está dentro de la ventana de medición T_{m1} y T_{m2} descrita anteriormente. En la etapa S50 siguiente se incrementa, por ejemplo en 1 el contador Z_{rf} , que representa el número de las mediciones con flanco ascendente de la contra-EMK.

- 10 En la etapa S60 se compara la tensión medida de los terminales U_v con un valor umbral U_{v_th} . Si U_v es mayor que U_{v_th} , entonces esto significa que la contra-EMK ha excedido cero en su flanco ascendente o bien tenía un punto de anulación y el procedimiento pasa a la etapa S70. Por otra parte, el procedimiento retorna a la etapa S40 y se repite la medición. Sobre la base del punto de anulación establecido de la contra-EMK se puede establecer, por ejemplo, el instante de la conmutación siguiente.

El punto de anulación siguiente de la contra-EMK se establece en el flanco descendente. A tal fin, se espera en la etapa S70 a que la desmagnetización haya concluido después de la cuarta conmutación, lo que se puede reconocer en que la corriente del arrollamiento I_v alcanza o bien no alcanza el valor 0.

- 15 En la etapa S80 se mide la tensión de los terminales U_v y en la etapa siguiente S90 se incrementa, por ejemplo en 1, el contador Z_{ff} , que indica el número de las mediciones con el flanco descendente de la contra-EMK.

- 20 En la etapa S100 se compara la tensión medida de los terminales U_v con un valor umbral U_{v_th} . Si U_v es menor que U_{v_th} , entonces esto significa que la contra-EMK no ha alcanzado cero o bien tenía un punto de anulación, y el procedimiento avanza a la etapa S110. En otro caso, el procedimiento retorna a la etapa S80 y se repite la medición. Sobre la base del punto de anulación establecido de la contra-EMK se establece, por ejemplo, el instante de la siguiente conmutación.

- 25 En la etapa S110 se suman los valores numéricos Z_{rf} y Z_{ff} para obtener la suma Z_{sum} . El valor de Z_{sum} corresponde de esta manera al número de mediciones de la tensión de los terminales U_v , que es indicativo de la fuerza electromotriz del motor eléctrico, dentro de un periodo eléctrico T . También es posible sumar los valores numéricos Z_{rf} y Z_{ff} realizando una ponderación en una relación determinada, por lo tanto, por ejemplo, tiende en consideración más fuertemente los valores numéricos Z_{rf} del flanco ascendente. De esta manera es posible tener en cuenta diferencias en las mediciones con flanco ascendente y flanco descendente.

- 30 En la etapa S120 se compara el valor Z_{sum} con un primer valor límite Z_{th} , que es 3 en el presente ejemplo. Si Z_{sum} es menor que el primer valor límite Z_{th} , entonces el procedimiento salta a la etapa S130, en otro caso salta a la etapa S140.

En la etapa S130 se incrementa en 1 el contador de aparición de eventos. Este contador de aparición de eventos Z_{event} cuenta cuántas veces es menor que el valor crítico de mediciones durante un periodo eléctrico. En cambio, si Z_{sum} no es menor que el primer valor límite Z_{th} , por lo tanto no inferior a 3, entonces se repone el contador de aparición de eventos Z_{event} en la etapa S140 a cero.

- 35 En la etapa S150 se compara el contador de aparición de eventos Z_{event} con un segundo valor límite Z_{th2} , por ejemplo 4. Si Z_{event} es mayor que el segundo valor límite Z_{th2} , entonces el procedimiento salta a la etapa S160, en otro caso salta a la etapa S170.

En la etapa S160 se reduce el número de revoluciones máximo admisible N_{max} , por ejemplo reduciendo el valor actual N_{max} en un valor predeterminado de, por ejemplo, 50 rpm.

- 40 En la etapa S170 se incrementa el número máximo admisible de revoluciones N_{max} en determinados supuestos. Una condición posible para el incremento es que el contador de aparición de eventos Z_{event} sea igual a cero durante un intervalo de tiempo determinado. Otra condición posible es que la suma Z_{sum} , dado el caso promediada, de los dos contadores de medición Z_{rf} y Z_{ff} alcance un valor límite, que es mayor que el valor límite 3. De esta manera se establece para la elevación del número de revoluciones una histéresis, que posibilita un funcionamiento más estable. Otra condición posible es que el número de revoluciones máximo posible N_{max} no debe exceder un número de revoluciones físicamente posible en condiciones más favorables del motor eléctrico. Todavía una condición posible es que el número de revoluciones máximo posible N_{max} no es mayor que un valor determinado, dado el caso en función del número de revoluciones mayor que el número de revoluciones real momentáneo. También es posible combinar las condiciones mencionadas anteriormente entre sí. De la misma manera, también es posible que también la reducción del número de revoluciones máximo admisible N_{max} se realice solamente después de la expiración de un intervalo de tiempo predeterminado.
- 50

Después de la etapa S160 o bien S170, el procedimiento salta de retorno a la etapa S20 y se realizan de nuevo las mediciones de la EMK.

Con el procedimiento descrito anteriormente se realiza una adaptación dinámica del número de revoluciones máximo admisible N_{max} en las condiciones de carga momentáneas. Si se incrementa, por ejemplo, el número de revoluciones real N continuamente, entonces se reduce el periodo eléctrico T y con ello también la ventana de medición T_{m1} durante la que se realiza la medición. A través del procedimiento descrito anteriormente se asegura que se realice un número mínimo determinado de mediciones, en el presente ejemplo 3 mediciones por cada periodo eléctrico. Como criterio de basculamiento se establece aquí, por lo tanto, que el número de las mediciones sea menor que 3. Si se da este criterio, entonces se retira el número de revoluciones máximo admisible hasta que no se da ya el criterio de basculamiento. De esta manera se puede adaptar el accionamiento a las relaciones de carga y se puede aproximar el número real de revoluciones al límite físicamente posible. De esta manera se dilata la zona del número de revoluciones, asegurando al mismo tiempo que el motor no bascula o bien se vuelve inestable.

En el procedimiento descrito anteriormente se contabilizan las mediciones con flanco ascendente y flanco descendente de la contra-EMK con contadores separados, lo que posibilita una suma ponderada, pero también es posible contabilizar el número de las mediciones con un único contador.

Lista de signos de referencia

100	Motor eléctrico	
110	Alimentación de tensión	
120	Puente inversor	
130U, 130V, 130W	Secciones de arrollamiento	
140	Punta de la estrella	
150	Resistencia	
160	Control del motor	
Iu, Iv, Iw	Corrientes del arrollamiento	
Uu, Uv, Uw	Tensiones de los terminales	
T	Periodo eléctrico	
T _{m1} , T _{m2}	Ventanas de medición	
X1 ... X6	Señales de control	
X0, Z _{cm} , Z _{delay} , Z _{trigger_vm} , Z _{vm} , Z _{max}	Valores numéricos	

REIVINDICACIONES

- 1.- Procedimiento para la adaptación de una zona de número de revoluciones de un motor eléctrico (100) hasta un número de revoluciones máximo posible físicamente, **caracterizado** por las siguientes etapas:
 - 5 - realización de un número de mediciones de una magnitud de medición (U_v), que es indicativa de una fuerza electromotriz (E_v) del motor eléctrico (100), dentro de un periodo de tiempo predeterminado;
 - cálculo del número (Z_{sum}) de las mediciones realizadas dentro de la duración de tiempo predeterminada;
 - adaptación de un valor numérico (Z_{event}) en función del número calculado (Z_{sum}); y
 - 10 - adaptación de un número de revoluciones máximo admisible (N_{max}) del motor eléctrico (100) en función del valor numérico calculado (Z_{event}).
- 2.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque las mediciones de la magnitud de medición (U_v) se realizan, respectivamente, dentro de un periodo de tiempo predeterminado, hasta que se cumple un criterio para el reconocimiento de un punto de anulación de la fuerza electromotriz (E_v).
- 3.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** porque el procedimiento presenta, además,
 - 15 las siguientes etapas:
 - incremento del valor numérico (Z_{event}) de un contador de aparición de eventos, en el caso de que el número calculado (Z_{sum}) de mediciones no alcance un primer valor límite (Z_{th1}),
 - decremento o reducción del valor numérico (Z_{event}) del contador de aparición de eventos, en el caso de que el número calculado (Z_{sum}) de mediciones exceda el primer valor límite (Z_{th1}), y
 - 20 - adaptación del número máximo admisible de revoluciones (N_{max}) en función del valor numérico (Z_{event}) del contador de aparición de eventos.
- 4.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado** porque el número máximo admisible de revoluciones (N_{max}) se reduce en el caso de que el valor numérico (Z_{event}) del contador de aparición de eventos exceda un segundo valor límite (Z_{th2}).
- 5.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3 ó 4, **caracterizado** porque el número máximo admisible de revoluciones (N_{max}) se incrementa en el caso de que el valor numérico (Z_{event}) del contador de aparición de eventos no exceda un segundo valor límite (Z_{th2}).
- 6.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado** porque el número máximo admisible de revoluciones (N_{max}) solamente se incrementa bajo la otra condición de que el número calculado (Z_{sum}) de mediciones exceda un tercer valor límite, que es mayor que el primer valor límite (Z_{th1}).
- 7.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5 ó 6, **caracterizado** porque el número máximo admisible de revoluciones (N_{max}) solamente se incrementa bajo la condición de que el valor numérico (Z_{event}) del contador de aparición de eventos no exceda el segundo valor límite (Z_{th2}) durante un periodo de tiempo predeterminado.
- 8.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la magnitud de medición (U_v) es una tensión de los terminales del motor eléctrico (100).
- 9.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el motor eléctrico (10) está configurado como motor síncrono, en particular como motor de corriente continua sin escobillas.
- 10.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la duración de tiempo predeterminada corresponde a un periodo eléctrico (T) del motor eléctrico (100).
- 11.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado** porque la duración de tiempo predeterminado corresponde al menos a una ventana de medición (T_{m1}) entre la desmagnetización y la conmutación de una sección de arrollamiento (130) del motor eléctrico (100).
- 12.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque se contabilizan el número de las mediciones para el reconocimiento del punto de anulación de un flanco ascendente de la contra-EMK y el número de las mediciones para el reconocimiento del punto de anulación de un flanco descendente de la contra-EMK con números separados, cuyos valores numéricos (Z_{rf} , Z_{ff}) se suman a continuación.
- 13.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 12, **caracterizado** porque los valores numéricos (Z_{rf} , Z_{ff}) de los contadores se suman ponderados.

14.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la fuerza electromotriz (Ev) es una contra-EMK inducida durante la rotación del motor eléctrico (100).

15.- Dispositivo la adaptación de una zona de número de revoluciones de un motor eléctrico (100) hasta un número de revoluciones máximo posible físicamente, que está instalado para

- 5 - realizar un número de mediciones de una magnitud de medición (Uv), que es indicativa de una fuerza electromotriz (Ev) del motor eléctrico (100), dentro de un periodo de tiempo predeterminado;
- calcular un número (Zsum) de las mediciones realizadas dentro de la duración de tiempo predeterminada;
- adaptar un valor numérico (Zevent) en función del número calculado (Zsum); y
- 10 - adaptar un número de revoluciones máximo admisible (Nmax) del motor eléctrico (100) en función del valor numérico calculado (Zevent).

16.- Motor eléctrico que presenta un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 14.

Fig. 1

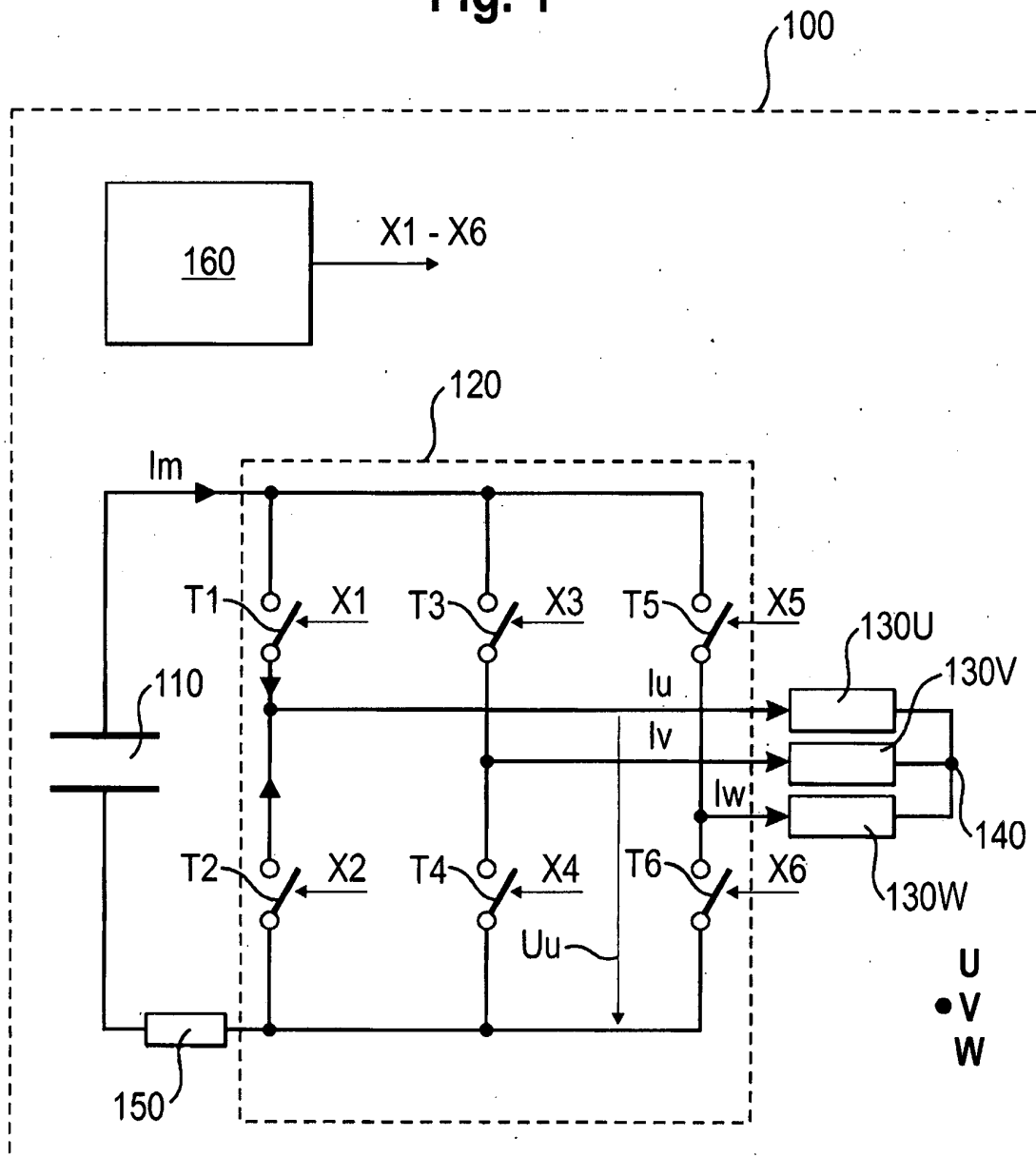


Fig. 2

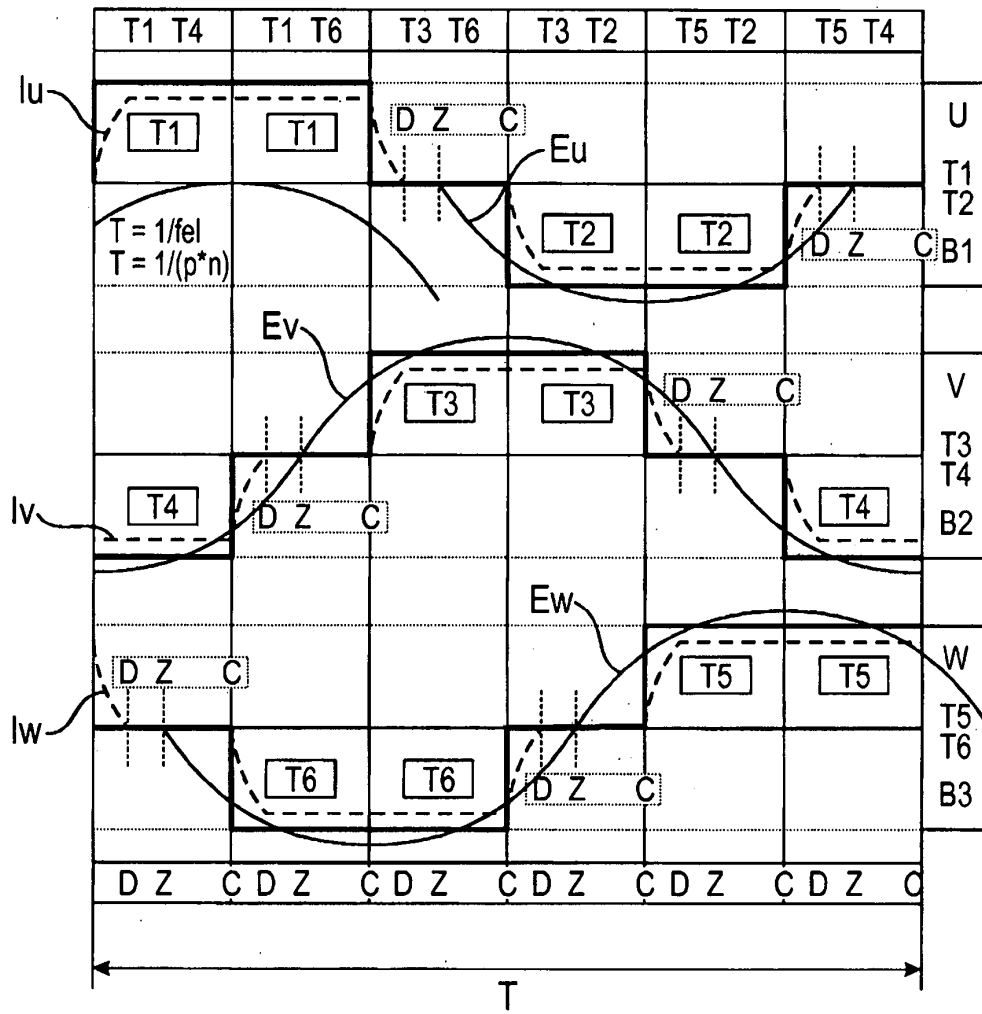


Fig. 3

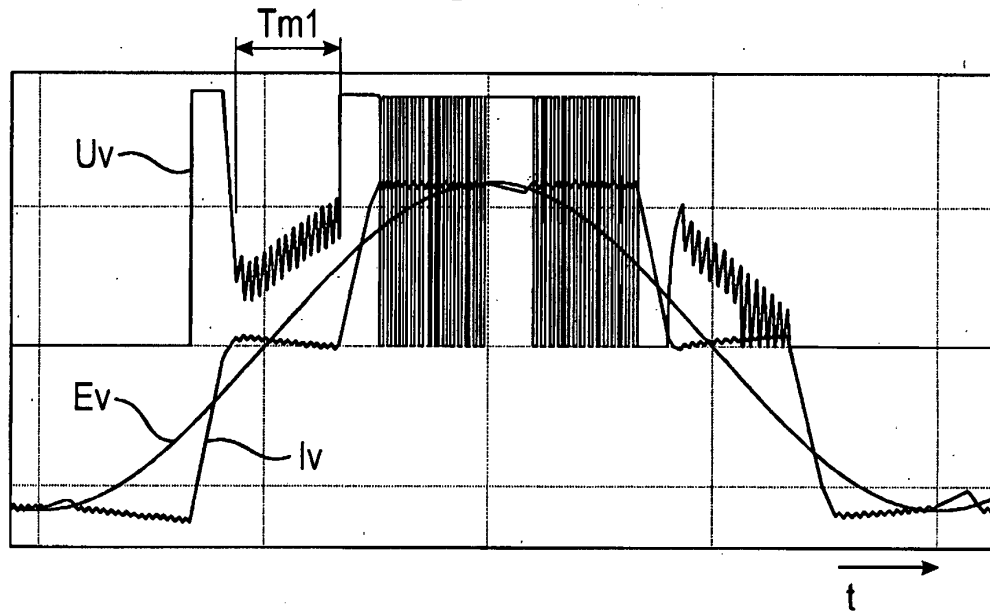


Fig. 4

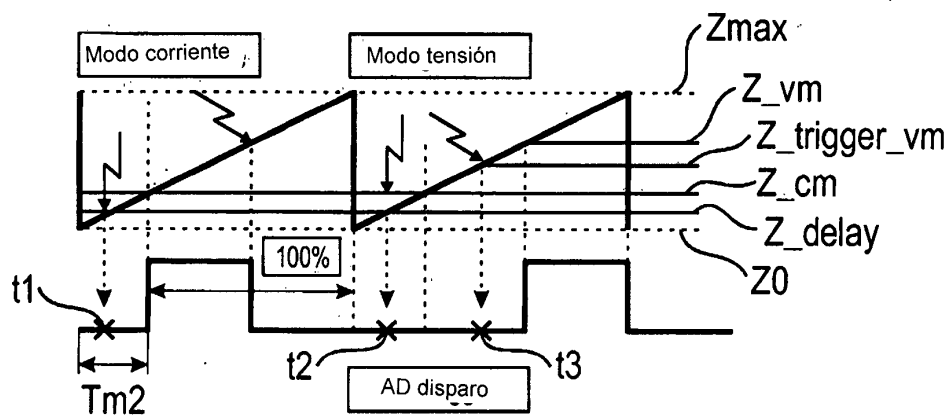


Fig. 5