

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 476 028**

51 Int. Cl.:

**H02P 23/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.07.2010 E 10763114 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.03.2014 EP 2498395**

54 Título: **Sistema de control de anticipación para un motor eléctrico y procedimiento de control de anticipación para un motor eléctrico aplicado a cargas cíclicas**

30 Prioridad:

**22.07.2009 BR PI0902347**

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

**11.07.2014**

73 Titular/es:

**WHIRLPOOL S.A. (100.0%)  
Av. Nações Unidas nº 12.995 32º andar Brooklin  
Novo  
São Paulo - SP 04578-000, BR**

72 Inventor/es:

**SOARES, CLAUDIO EDUARDO;  
BERNHARD LILIE, DIETMAR ERICH;  
ANDRICH, ROBERTO y  
VON DOKONAL, LUIZ**

74 Agente/Representante:

**ZEA CHECA, Bernabé**

**ES 2 476 028 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**

Sistema de control de anticipación para un motor eléctrico y procedimiento de control de anticipación para un motor eléctrico aplicado a cargas cíclicas

5

La presente invención se refiere a un sistema especialmente diseñado para controlar motores de imanes permanentes de tipo trapezoidal sin escobillas de corriente continua, con el objetivo de optimizar la eficiencia del consumo de energía eléctrica en la conducción de cargas cíclicas, tales como compresores en sistemas de refrigeración.

10

Adicionalmente, la presente invención dispone un procedimiento de control para motores de este tipo, que se implementa en el sistema que ahora se reivindica.

**Descripción del estado de la técnica**

15

Los motores de imanes permanentes de tipo sin escobillas de corriente continua están siendo cada vez más populares en aplicaciones que requieren bajos costes y un elevado rendimiento. Los motores de tipo sin escobillas de corriente continua son similares a los motores de corriente continua montados invertidos, en los que los imanes permanentes van montados en el rotor. Mientras que en los motores de corriente continua la inversión de la corriente la realiza el conmutador y las escobillas, en el caso de los motores sin escobillas de corriente continua, la corriente se invierte por medio de unos inversores de potencia que accionan las bobinas del estator.

20

Para obtener un par máximo y una eficiencia más elevada en el consumo de energía es necesario sincronizar la corriente con la tensión inducida en las fases del motor. Esto puede llevarse a cabo mediante el uso de sensores acoplados al eje del motor o mediante la observación de las tensiones, o corrientes, inducidas en las fases del motor. Los sensores acoplados al eje del motor presentan el inconveniente de que añaden elementos adicionales al diseño del motor, aumentando considerablemente el coste final de la solución. Además, las limitaciones de espacio y el propio entorno al cual se ve sometido el motor pueden hacer que el uso de estos tipos de sensores sea inviable. Por ello, el uso de observadores de tensión o corriente constituye la mejor elección en la mayoría de los casos.

30

La patente norteamericana US 6922027 describe una técnica que utiliza un observador de tensión construido con una red formada por comparadores de tensión, condensadores y resistencias. La salida de los comparadores se envía a un microprocesador que determina los instantes de conmutación del accionamiento motorizado. Aunque la solución es microprocesada, esto requiere el uso de muchos componentes externos.

35

Andrich y otros utiliza una técnica en la cual se muestran las tres fases del motor, se tratan matemáticamente, y luego se comparan entre sí para determinar los instantes de conmutación del motor. Las ventajas de esta técnica son la eliminación de los circuitos analógicos para determinar la posición del motor, la flexibilidad en los ajustes del observador de acuerdo con la estructura mecánica del motor, una menor sensibilidad a las variaciones paramétricas de los componentes y la posibilidad de calibrar el circuito.

40

Los motores de corriente continua sin escobillas pueden utilizarse para accionar compresores aplicados a sistemas de refrigeración. Este tipo de aplicación satisface las condiciones de cargas cíclicas definidas en el alcance de esta invención. El objetivo de aplicar este tipo de motor a sistemas de refrigeración es la variación de la capacidad de refrigeración del sistema, que puede controlarse variando el flujo de refrigeración. La cantidad de flujo de refrigeración, a su vez, es directamente proporcional a la velocidad media del motor. Por consiguiente, la especificación principal del controlador debe ser el control de la velocidad de giro media.

45

El funcionamiento del compresor puede dividirse en dos etapas de operación: la etapa de aspiración y la etapa de compresión. La aspiración se produce al comienzo de cada ciclo y se caracteriza por la retirada del pistón dentro del cilindro. Durante este procesamiento, el cilindro se llena con el fluido refrigerante. El ciclo de compresión, a su vez, comienza cuando el pistón invierte su sentido de desplazamiento. Durante esta etapa, el fluido se comprime en el interior del cilindro. Al comprimirse el fluido se genera un par mucho mayor que el par medio que resulta de una carrera mecánica completa. Teniendo en cuenta que este comportamiento se repite en cada carrera mecánica, puede apreciarse un comportamiento cíclico en la variación del par durante el funcionamiento del motor.

55

La variación del par en una carrera mecánica provoca una variación de la velocidad del motor, disminuyendo la velocidad del motor durante el ciclo de compresión. Generalmente, no existe ninguna compensación en la acción de control para regular la velocidad instantánea del motor en una carrera mecánica para compensar la velocidad durante el ciclo de compresión. Los controladores desarrollados para accionar los compresores suponen que lo que es importante para el sistema de refrigeración es el control del caudal de refrigeración medio, que se define básicamente por la velocidad de giro media.

60

Sin embargo, el simple control de la velocidad media del motor puede presentar distorsiones en la forma de onda de la corriente debido a la variación del giro durante los ciclos de aspiración y compresión. Esta deformación de la forma de onda de la corriente no es deseable dado que disminuye la eficiencia del consumo de energía eléctrica debido a la reducción del factor de potencia del motor.

5

Teniendo en cuenta el ciclo de compresión, por ejemplo, se observa que la tensión inducida en el motor mantiene una reducción de la amplitud debido a la reducción de la velocidad provocada por el aumento de par. Los controladores convencionales no actúan para modificar la tensión media aplicada al motor y por ello existe un aumento en la diferencia de potencial aplicado a las bobinas del motor, lo que se define como la diferencia entre la

10

tensión aplicada por el inversor y la tensión inducida del motor. El aumento de la diferencia de potencial aplicada a las bobinas del motor provoca entonces un aumento de la corriente durante el ciclo de compresión. De la misma manera, en el ciclo de aspiración la corriente disminuye debido a la reducción de la amplitud de la tensión inducida en el motor.

15

Por lo tanto, la corriente aplicada en el motor aumenta durante el ciclo de compresión y disminuye durante el ciclo de aspiración. Este comportamiento es exactamente el contrario al comportamiento de la tensión inducida, que disminuye durante el ciclo de compresión y aumenta durante el ciclo de aspiración. El impacto de este comportamiento inverso entre la tensión y la corriente es en el factor de potencia del motor, un factor que disminuye a medida que la forma de onda de la corriente se vuelve diferente a la forma de onda de la tensión inducida.

20

#### **Breve descripción y objetivos de la invención**

El objetivo de la presente invención es mejorar el factor de potencia del motor sin escobillas de corriente continua aplicado al accionamiento de cargas cíclicas, ajustando la forma de onda de la corriente aplicada al motor. Este

25

ajuste de la forma de onda de la corriente debe llevarse a cabo debido a las variaciones en la tensión inducida del motor como consecuencia de variaciones en la velocidad en una carrera mecánica.

Los ajustes de la forma de onda de la corriente se basan en la información de carreras anteriores, teniendo en cuenta que la forma de onda estándar del par, la velocidad y la tensión inducida en el motor deben variar poco de

30

una carrera mecánica a la siguiente en el funcionamiento de cargas cíclicas. La técnica de control propuesta aprovecha esta característica cíclica de la carga para anticipar los ajustes en la tensión aplicada al motor. Es como si la técnica de control pudiera anticipar la carga del motor y predecir el impacto de esta variación sobre el motor. De este modo, el controlador es capaz de anticipar los ajustes necesarios en la tensión aplicada al motor en base a este comportamiento previsto.

35

Por consiguiente, los objetivos de la presente invención se consiguen disponiendo un sistema y un procedimiento de control de anticipación para motores eléctricos aplicados a cargas cíclicas, presentando dicho sistema un motor eléctrico, que comprende por lo menos una unidad electrónica de control, por lo menos una unidad electrónica de potencia, por lo menos un dispositivo eléctrico de observación de la posición, estando accionado eléctricamente el

40

motor eléctrico por la unidad electrónica de potencia, estando gobernada eléctricamente la unidad electrónica de potencia por la unidad electrónica de control, comprendiendo el sistema un controlador de velocidad media y un dispositivo de observación de la posición del motor eléctrico, ambos implementados por la unidad electrónica de control, estando dispuesto el regulador de velocidad para monitorizar una velocidad media del motor eléctrico, estando dispuesto el dispositivo de observación de la posición para monitorizar y almacenar una velocidad

45

instantánea en cada posición del motor eléctrico y estimar, por medio de cada posición, una velocidad de control instantánea del motor eléctrico, estando dispuesta la unidad electrónica de control para calcular una tensión promedio en base a la velocidad media monitorizada, estando dispuesta la unidad electrónica de potencia para accionar eléctricamente el motor eléctrico por medio de un valor de tensión de control, calculándose este valor de tensión de control multiplicando la tensión promedio por el resultado de la división entre la velocidad instantánea y la

50

velocidad media. Tal como se ha mencionado, los objetivos de la presente invención se consiguen además mediante un procedimiento de control de anticipación para un motor eléctrico, presentando dicho procedimiento las siguientes etapas:

55

- i) calcular la velocidad media del motor eléctrico;
- ii) calcular, utilizando la velocidad media de la etapa anterior, una tensión promedio,
- iii) monitorizar una velocidad instantánea en cada posición del motor eléctrico,
- iv) almacenar uno o más valores de velocidad instantánea calculados en la etapa anterior,
- v) estimar, por medio de cada posición del motor eléctrico, una velocidad instantánea de control del

60

motor eléctrico,

vi) accionar eléctricamente el motor eléctrico, por medio de un valor de tensión de control, calculándose este valor de tensión de control multiplicando la tensión promedio por el resultado de la división entre la velocidad instantánea de control y la velocidad media.

5 Con el fin de implementar el ajuste en la forma de onda de la corriente, dicho procedimiento de control monitoriza y almacena las velocidades instantáneas en cada posición del motor. Tal como se ha descrito anteriormente, el procedimiento de control modifica entonces la tensión a aplicar al motor, multiplicando la tensión promedio previamente definida por el control de velocidad mediante la división entre la velocidad instantánea y la velocidad media. La información sobre la velocidad instantánea utilizada en este cálculo proviene de la carrera previa del  
10 motor, de manera que el controlador es capaz de anticipar el comportamiento del motor. La corrección realizada en la tensión aplicada al motor, de la manera descrita, consigue ajustar la forma de onda de la corriente de manera que es similar a la forma de onda de la tensión inducida.

Este trabajo también pone de relieve que la imposición de cualquier cambio en la corriente se producirá a través de  
15 una alteración de la tensión instantánea suministrada al motor, sin alterar la tensión promedio calculada por la red de control de velocidad.

### Descripción resumida de los dibujos

20 La invención se describirá con referencia a los dibujos que se acompañan, los cuales se dan con fines explicativos y en los cuales:

Figura 1: (a) representa un diagrama de bloques de un sistema de accionamiento de un motor de imanes permanentes de tipo de corriente continua sin escobillas, trifásico de 4 polos, con tensiones trapezoidales a un nivel de 120° grados eléctricos. El diagrama comprende un rectificador, un filtro capacitivo, un inversor trifásico, caracterizado por el conjunto de conmutadores de potencia, un motor de imanes permanentes, un observador de tensión y una unidad de control. En (b), la característica de las formas de onda del accionamiento del motor eléctrico;

Figura 2: presenta el diagrama de bloques para accionar el motor eléctrico utilizando un controlador de velocidad media. El control de esta solución es monitorizando la velocidad media del motor;

Figura 3: (a) formas de onda de la tensión inducida EA y la tensión media aplicada FA en una de las fases del motor, a una carga constante aplicada al eje del motor. En este mismo caso, (b) presenta la forma de onda de la corriente del motor;

Figura 4: (a) y (c) detalle de la diferencia entre la tensión aplicada al motor FA y la tensión inducida EA en diferentes instantes, dentro de un período mecánico. Adicionalmente, (b) y (d) muestran las respectivas corrientes resultantes en el motor;

Figura 5: corriente en las tres fases del motor que resultan del procedimiento de control de la velocidad media aplicada a una carga constante. Las corrientes de las tres fases presentan una forma de onda idéntica dentro de una carrera mecánica;

Figura 6: curva característica de una carga cíclica aplicada a un motor accionado por un controlador de velocidad media;

Figura 7: (a) presenta las formas de onda de la tensión inducida EA y de la tensión aplicada al motor FA. (b) presenta la forma de onda de la corriente resultante en el motor. La variación de la tensión inducida EA es una consecuencia directa de la variación de la velocidad del motor dentro de una carrera mecánica;

Figura 8: (a) detalle de la diferencia entre la tensión aplicada al motor FA y la tensión inducida EA durante el instante de velocidad máxima. (b) corriente resultante durante el instante de velocidad máxima. (c) detalle de la diferencia entre la tensión aplicada al motor FA y la tensión inducida EA durante el instante de velocidad mínima. (d) corriente resultante durante el instante de velocidad mínima;

Figura 9: presenta la corriente en las tres fases del motor resultante del procedimiento de control de la velocidad media aplicada a la carga cíclica;

Figura 10: diagrama de bloques del procedimiento de control para mejorar el factor de potencia del motor;

Figura 11: (a) presenta las formas de onda de la tensión inducida EA y de la tensión aplicada al motor FA corregidas por el sistema propuesto y procedimiento de control. (b) presenta la forma de onda de la corriente resultante en el motor;

Figura 12: (a) detalle de la tensión aplicada al motor FA corregida mediante el procedimiento de control propuesto y la tensión inducida EA durante el instante de velocidad máxima. (b) corriente resultante durante el instante de velocidad máxima. (c) detalle de la tensión aplicada al motor FA corregida por el procedimiento de control propuesto y la tensión inducida EA durante el instante de velocidad mínima. (d) corriente resultante durante el instante de velocidad mínima;

Figura 13: presenta la corriente en las tres fases del motor corregida por el procedimiento de control que es el objeto de la presente invención;

Figura 14: presenta la velocidad media en cada posición adquirida por un observador de velocidad, conjuntamente con la velocidad real del motor, de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención;

Figura 15: muestra el retardo existente en la medición de velocidad, caracterizado por la diferencia entre la velocidad real y la velocidad medida por los instantes de conmutación, de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención; y

Figura 16: muestra el almacenamiento de la velocidad instantánea en cada posición del motor, según se dispone en el diagrama de bloques de control de esta invención.

### Descripción detallada de los dibujos

La figura 1 (a) muestra la disposición básica de un diagrama de control y (b) las formas de onda ideales existentes en el accionamiento de un motor eléctrico 10, en este caso un motor de imanes permanentes de tipo sin escobillas de corriente continua, trifásico con cuatro polos, de onda trapezoidal. A modo de ejemplo, en lo sucesivo, este motor se utiliza para analizar el resto de gráficas. Sin embargo, la invención también es válida para cualquier motor de imanes permanentes de tipo sin escobillas de corriente continua. Sin embargo, la invención también es válida para cualquier motor de imanes permanentes de tipo sin escobillas de corriente continua. En funcionamiento normal, el control analiza la entrada del observador de tensión y/o corriente y acciona unos conmutadores SW1 a SW6 en la secuencia indicada en la figura 1 (b), de acuerdo con la posición detectada.

Además, es conocido que mediante el uso de sensores acoplados al eje del motor, los observadores de tensiones, o corrientes, inducidas es posible medir la velocidad del motor. En la disposición propuesta, se utilizó un observador de tensión, tal como se ilustra en la figura 1 (a), aunque cualquier otro dispositivo de medición de la velocidad puede aplicarse a la invención presentada.

La figura 2 muestra un diagrama de bloques de un control típico que funciona en base a la velocidad media de un motor eléctrico. Esta disposición muestra el motor y el inversor, así como un sensor que puede monitorizar la velocidad configurando un controlador que es responsable de procesar la información sobre velocidad procedente del sensor de forma conjunta con la referencia, o punto de ajuste, definido por el sistema.

La figura 3, a su vez, presenta la respuesta del motor eléctrico accionado por un controlador convencional de velocidad media para el caso de imponer una carga constante sobre el eje. La condición de la carga constante es favorable a este tipo de control, ya que la velocidad de giro real se mantiene constante durante un ciclo mecánico. Este comportamiento constante de la velocidad se refleja en la forma de onda de la tensión inducida en el motor. De acuerdo con la figura 3 (a), la tensión inducida mantiene una forma uniforme, es decir, que no se altera durante un ciclo mecánico. Como consecuencia, la forma de onda resultante de la corriente en el motor también adopta un comportamiento uniforme, y no se altera durante la carrera mecánica, tal como se presenta en la figura 3 (b).

Las figuras 4 (a) y (c) detallan la diferencia entre la tensión inducida EA y la tensión aplicada al motor FA, que permanece aproximadamente constante dentro en una carrera mecánica. Las figuras 4 (b) y (d) muestran que las formas de onda de la corriente de fase resultante en el motor también son idénticas en una carrera mecánica, debido al mantenimiento de la diferencia entre la tensión inducida EA y la tensión aplicada al motor FA.

En consecuencia, tal como puede apreciarse en la figura 5, las formas de onda de las corrientes resultantes en las tres fases del motor son idénticas, no demostrándose ningún tipo de distorsión durante el ciclo mecánico.

Sin embargo, es importante señalar la diferencia en los impactos para una carga constante en comparación con los procedentes de una carga cíclica en el eje del motor. La figura 6 presenta un ejemplo de carga cíclica, que se compone de una oscilación alrededor de un punto de funcionamiento promedio TM. Una carga con una característica típicamente cíclica es la carga generada por un compresor alternativo. El impacto en la velocidad del motor, que funciona mediante el controlador convencional de velocidad media, es una oscilación alrededor de la velocidad media  $RPM_{media}$ .

La oscilación de la velocidad provoca una variación de la amplitud de la tensión inducida EA, la cual se muestra en la figura 7. Como que la tensión aplicada al motor FA por el controlador de velocidad es constante durante una carrera mecánica, cuanto mayor es la tensión inducida EA menor es la corriente resultante del motor IA.

Por lo tanto, durante el instante de velocidad máxima, resaltado en la figura 8 (a) y (b), la tensión inducida EA se acerca mucho a la tensión aplicada al motor FA. Como consecuencia, existe una reducción de la amplitud de la corriente IA. Durante el instante de velocidad mínima, resaltado en las figuras 8 (c) y (d), se produce el fenómeno inverso.

El impacto de la variación de la velocidad en las corrientes del motor se resume en la figura 9, que muestra claramente la distorsión de las corrientes de fases IA, IB e IC en una carrera mecánica. La disminución de la corriente resultante en el motor durante el aumento de la tensión inducida, o el aumento de la corriente durante la  
5 disminución de la tensión inducida, afecta directamente a la reducción del factor de potencia del motor.

Con el fin de mejorar el factor de potencia del motor, la corriente debe tener el mismo formato que la tensión inducida. Por lo tanto, debe actuar un sistema de control, por ejemplo, como el propuesto en la presente invención, para reducir la tensión inducida en el motor cuando se produce una reducción en la corriente de funcionamiento, al  
10 mismo tiempo en que aumenta la tensión inducida en el motor cuando al aumentar la corriente en el motor.

Sin embargo, el fenómeno que se produce con el controlador de velocidad convencional es precisamente el contrario. Esta variación de la corriente que es desproporcionada respecto a la tensión inducida durante una carrera mecánica del motor perjudica al factor de potencia del motor y, por lo tanto, disminuye la eficiencia del sistema.  
15

En este sentido, el objetivo del sistema y el procedimiento que ahora se propone es mejorar el factor de potencia del motor aplicado al accionamiento de las cargas cíclicas, con el cual se ajusta la forma de onda de la corriente.

En el diagrama de bloques de la figura 10 se ilustra una forma de actuar para ajustar la corriente del motor.  
20

Dicho control actúa para ajustar la forma de onda de la corriente, monitorizando la velocidad instantánea y la velocidad media del motor. En cambio, el control ilustrado en la figura 10 tiene el inconveniente técnico de necesitar monitorización y control en tiempo real, además de un equipo de procesamiento de alta capacidad.

Dentro de las enseñanzas de la presente invención, se propone un sistema y un procedimiento de control con el fin de trabajar con valores de velocidad estimados y almacenados, siendo posible predecir el comportamiento del motor durante su funcionamiento, de manera diferente a lo que ocurre en la solución presentada en la figura 10.  
25

Por consiguiente, el presente sistema de control, denominado sistema de control de prevención para un motor eléctrico aplicado a cargas cíclicas, comprende un motor eléctrico 10, por lo menos una unidad electrónica de control  
30 20 y por lo menos una unidad electrónica de potencia 30. La figura 1 ilustra una posibilidad de implementación del objeto que ahora se reivindica.

Además, vale la pena mencionar que el motor eléctrico 10 es accionado eléctricamente por medio de la unidad de potencia 30. La unidad electrónica de potencia 30 comprende un conjunto de conmutadores electrónicos de potencia SW2N dispuestos para controlar una tensión de cada fase del motor eléctrico 10.  
35

La misma figura 1 muestra que la unidad electrónica de potencia 30 está gobernada eléctricamente por medio de la unidad electrónica de control 20.  
40

Una característica innovadora de la presente invención se refiere al hecho de que el sistema de control comprende un controlador de velocidad media y un dispositivo eléctrico de observación de la posición del motor eléctrico, ambos implementados por la unidad electrónica de control 20.

El controlador de velocidad media está dispuesto especialmente para monitorizar una velocidad media del motor eléctrico 10, mientras que el dispositivo de observación de la posición está dispuesto para monitorizar y almacenar una velocidad instantánea  $S_i$  en cada posición del motor eléctrico 10.  
45

En consecuencia, es posible estimar, a través de cada posición, una velocidad instantánea del control  $S_c$  del motor eléctrico 10.  
50

A continuación, la unidad electrónica de control 20 está dispuesta para calcular una tensión promedio  $V_m$  en base a la velocidad media monitorizada, mientras que la unidad electrónica de potencia 30 está dispuesta para accionar eléctricamente el motor eléctrico 10 por medio de un valor de tensión de control  $V_{control}$ .  
55

Dicho valor de tensión de control  $V_{control}$  se calcula multiplicando la tensión media  $V_m$  por el resultado de la división entre la velocidad instantánea de control  $S_c$  y la velocidad media  $RPM_{media}$ .

En base a lo anterior, el presente sistema de control modifica la tensión que se aplica al motor en base a la siguiente ecuación:  
60

$$V_{ins} = V_m \times \frac{V_c}{RPM_{media}}$$

La corrección realizada en la tensión aplicada al motor, tal como se ha descrito, permite ajustar la forma de onda de la corriente de manera que sea similar a la forma de onda de la tensión inducida. La figura 11 (a) presenta las formas de onda de la tensión inducida EA y de la tensión aplicada al motor FA. Entonces, la amplitud de la corriente  
5 corregida IA, mostrada en la figura 11 (b) es directamente proporcional a la tensión inducida EA.

En otras palabras, el valor de la tensión de control  $V_{control}$  se calcula para así proporcionar una forma de onda de corriente del motor eléctrico 10 alineada sustancialmente con una forma de onda de la tensión inducida en el motor eléctrico 10.

10

Por lo tanto, durante el instante de velocidad máxima, resaltado en la figura 12 (a) y 12 (b), la tensión aplicada al motor FA aumenta, proporcionando un aumento de amplitud de la corriente IA. Durante el instante de velocidad mínima, resaltado en las figuras 12 (c) y 12 (d), se produce el fenómeno inverso.

15 El resultado del ajuste de las corrientes de fases IA, IB e IC se presenta en la figura 13. Aunque pueda parecer extraño, las oscilaciones que presenta ahora la corriente favorecen la mejora del factor de potencia, ya que éstas se encuentran en fase con las mismas variaciones que presenta la tensión inducida.

Además, ventajosamente en comparación con las técnicas anteriores, la presente invención tiene un sistema de control de anticipación, dado que la velocidad instantánea  $S_i$  es una muestra de la carrera anterior del motor eléctrico  
20 10, de manera que el sistema anticipa el comportamiento de las cargas cíclicas.

Dentro de las enseñanzas de la presente invención, por lo tanto, es posible utilizar un observador de velocidad muy simple, basado únicamente en los instantes de conmutación. En este tipo de observador de velocidad, la velocidad  
25 en cada posición se define en base al tiempo que permanece en cada posición. La salida de este tipo de observador es una señal muestreada con el valor de la velocidad media en cada posición, tal como se muestra en la figura 14. Por consiguiente, el dispositivo de observación de la posición funciona para configurar un observador de velocidad.

Por lo tanto, el observador de velocidad funciona como temporizador dispuesto para monitorizar una respuesta del  
30 sensor de posición.

De este modo, el valor de la velocidad media calculada en la presente invención se obtiene al final de cada posición, lo que implica un retraso de una posición en la lectura de la velocidad en cada posición. La figura 15 muestra la diferencia entre la velocidad real y la velocidad medida por medio de instantes de conmutación. Por lo tanto, la  
35 invención permite superar las limitaciones impuestas por este retraso en la medición de la velocidad.

Para ello, los ajustes en la forma de onda de la corriente se basan en la información de las carreras anteriores, teniendo en cuenta que la forma de onda estándar del par, la velocidad y la tensión inducida en el motor debe variar poco de una carrera mecánica a la siguiente en las operaciones de carga cíclica. La técnica de control propuesta se  
40 aprovecha de esta característica cíclica de la carga de modo que puede anticipar los ajustes de tensión que se aplican al motor.

Dicho control es como si la técnica propuesta previera la carga del motor y pudiera predecir el impacto de esta variación en el motor. El controlador puede entonces prever los ajustes necesarios en la tensión aplicada al motor en  
45 base al comportamiento previsto.

Con el fin de implementar el ajuste en la forma de onda de la corriente, el sistema de control monitoriza y almacena la velocidad instantánea en cada posición del motor, tal como se presenta en el diagrama de bloques de la figura 16.

50 Es importante señalar que el presente sistema de control está dispuesto para aplicar una tensión constante al motor eléctrico 10 durante cada una de las posiciones de conmutación. La tensión aplicada en cada posición del motor eléctrico 10 se da en base a las rotaciones medidas en cada posición.

Preferiblemente, el sistema que se propone ahora utiliza un filtro dispuesto para optimizar la lectura de la velocidad del motor eléctrico 10. Tal como ya se ha mencionado, la presente invención está ideada preferiblemente para un motor eléctrico 10 de tipo sin escobillas de corriente continua. Sin embargo, puede aplicarse a motores que tengan características similares.

Una característica adicional de la presente invención tiene en cuenta un procedimiento de control de anticipación  
60 para un motor eléctrico 10 aplicado a cargas cíclicas. Dicho procedimiento comprende las siguientes etapas:

- i) calcular la velocidad media del motor eléctrico 10;
- ii) calcular, utilizando la velocidad media de la etapa anterior, una tensión promedio  $V_m$ ,

- iii) monitorizar una velocidad instantánea  $S_i$  en cada posición del motor eléctrico 10,
- iv) almacenar uno o más valores de velocidad instantánea  $S_i$  calculados en la etapa anterior,
- v) estimar, por medio de cada posición del motor eléctrico 10, una velocidad instantánea de control  $S_c$  del motor eléctrico 10, y
- 5 vi) accionar eléctricamente el motor eléctrico (10), por medio de un valor de tensión de control  $V_{control}$ , calculándose este valor de tensión de control  $V_{control}$  multiplicando la tensión promedio  $V_m$  por el resultado de la división entre la velocidad instantánea de control  $S_c$  y la velocidad media.

10 Dicho procedimiento está ideado para implementar sus etapas mediante el sistema de control descrito anteriormente.

A la vista de lo anterior, puede decirse que la presente invención consigue sus objetivos en la medida en que se propone un sistema y un procedimiento de control para un motor eléctrico 10, y es capaz de mejorar el accionamiento de dicho motor centrándose en el mayor factor de potencia de la máquina, mostrándose una mayor  
15 eficiencia en términos de consumo de energía eléctrica durante el accionamiento de las cargas cíclicas.

Habiendo descrito un ejemplo de una realización preferida, debe entenderse que el alcance de la presente invención abarca otras variaciones posibles, y sólo está limitado por el contenido de las reivindicaciones adjuntas, quedando  
20 incluidos en las mismas equivalentes potenciales.

**REIVINDICACIONES**

1. Sistema de control de anticipación para un motor eléctrico (10) aplicado a cargas cíclicas, comprendiendo el sistema de control:
- 5
- un motor eléctrico (10);
  - por lo menos una unidad electrónica de control (20) para accionar el motor eléctrico (10);
  - por lo menos una unidad electrónica de potencia (30) que está gobernada eléctricamente por medio de la unidad electrónica de control (20),
- 10
- estando caracterizado el sistema por el hecho de que comprende un controlador de velocidad media y un dispositivo eléctrico de observación de la posición del motor eléctrico, ambos implementados a través de la unidad electrónica de control (20), estando dispuesto el controlador de velocidad media para monitorizar una velocidad media del motor eléctrico (10), estando dispuesto el dispositivo de observación de la posición para monitorizar y almacenar una
- 15
- velocidad instantánea ( $S_i$ ) en cada posición del motor eléctrico (10) y estimar, por medio de cada posición, una velocidad instantánea de control ( $S_c$ ) del motor eléctrico (10), estando dispuesta la unidad electrónica de control (20) para calcular un tensión promedio ( $V_m$ ) en base a la velocidad media monitorizada, estando dispuesta la unidad electrónica de potencia (30) para accionar eléctricamente el motor eléctrico (10) mediante un valor de tensión de control ( $V_{control}$ ), calculándose este valor de tensión de control ( $V_{control}$ ) multiplicando la tensión promedio ( $V_m$ ) por el
- 20
- resultado de la división entre la velocidad instantánea de control ( $S_c$ ) y la velocidad media.
2. Sistema según la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que el motor eléctrico (10) es de tipo sin escobillas, de corriente continua.
- 25
3. Sistema según la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que la unidad electrónica de potencia (30) comprende un conjunto de conmutadores electrónicos de potencia (SW2N) dispuestos para controlar una tensión en cada fase del motor eléctrico (10).
4. Sistema según la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que el valor de la tensión de control ( $V_{control}$ ) se
- 30
- calcula para proporcionar una forma de onda de la corriente del motor eléctrico (10) sustancialmente alineada con una forma de onda de la tensión inducida en el motor eléctrico (10).
5. Sistema según la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que la velocidad instantánea ( $S_i$ ) es una muestra de la carrera anterior del motor eléctrico (10) de manera que el sistema anticipa un comportamiento de las cargas
- 35
- cíclicas.
6. Sistema según la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que el dispositivo de observación de la posición funciona para disponer un observador de velocidad.
- 40
7. Sistema según la reivindicación 6, caracterizado por el hecho de que el observador de velocidad es un temporizador dispuesto para monitorizar una respuesta del sensor de posición.
8. Sistema según la reivindicación 6, caracterizado por el hecho de que está dispuesto para aplicar una tensión constante al motor eléctrico (10) durante cada una de las posiciones de conmutación.
- 45
9. Sistema según la reivindicación 8, caracterizado por el hecho de que la tensión aplicada en cada posición del motor eléctrico (10) se da en base a las rotaciones medidas en cada posición.
10. Sistema según la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que se utiliza un filtro dispuesto para optimizar
- 50
- la lectura de la velocidad del motor eléctrico (10).
11. Procedimiento de control de anticipación para un motor eléctrico (10) aplicado a cargas cíclicas, estando el procedimiento caracterizado por el hecho de que comprende las siguientes etapas:
- 55
- i) calcular la velocidad media del motor eléctrico (10);
  - ii) calcular, utilizando la velocidad media de la etapa anterior, una tensión promedio ( $V_m$ ),
  - iii) monitorizar una velocidad instantánea ( $S_i$ ) en cada posición del motor eléctrico (10),
  - iv) almacenar uno o más valores de velocidad instantánea ( $S_i$ ) calculados en la etapa anterior,
  - v) estimar, por medio de cada posición del motor eléctrico (10), una velocidad instantánea de control
  - 60
  - ( $S_c$ ) del motor eléctrico (10),
  - vi) accionar eléctricamente el motor eléctrico (10), por medio de un valor de tensión de control ( $V_{control}$ ), calculándose este valor de tensión de control ( $V_{control}$ ) multiplicando la tensión promedio ( $V_m$ ), por el resultado de la división entre la velocidad instantánea de control ( $S_c$ ) y la velocidad media.

12. Procedimiento de control de anticipación para un motor eléctrico (10) según la reivindicación 11, caracterizado por el hecho de que las etapas se implementan por medio del sistema de control definido en las reivindicaciones 1 a 10.

5

FIGURA 1(A)

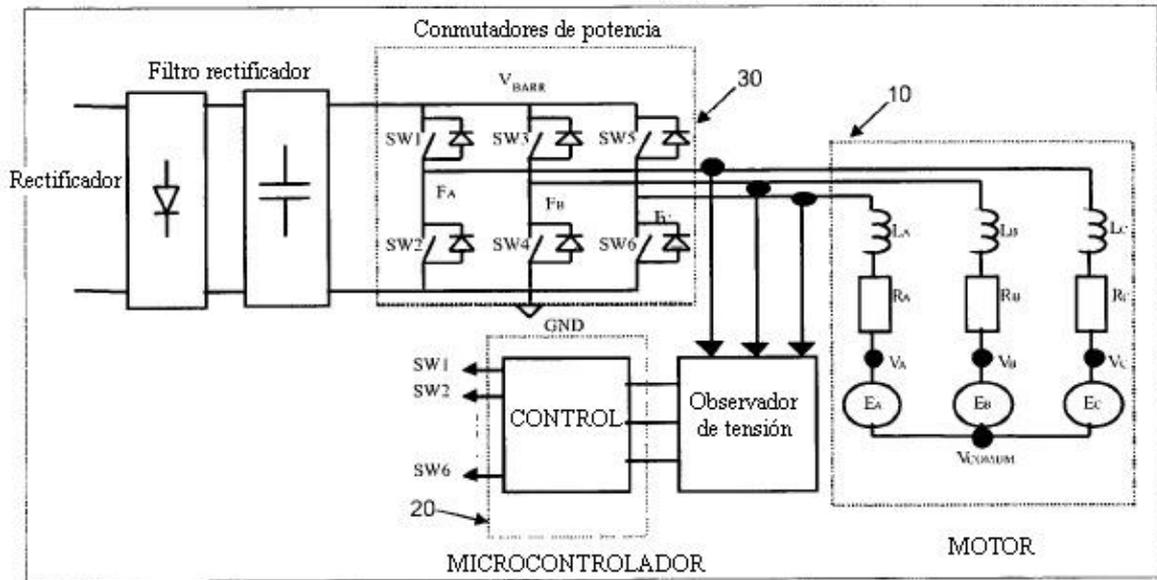


FIGURA 1(B)

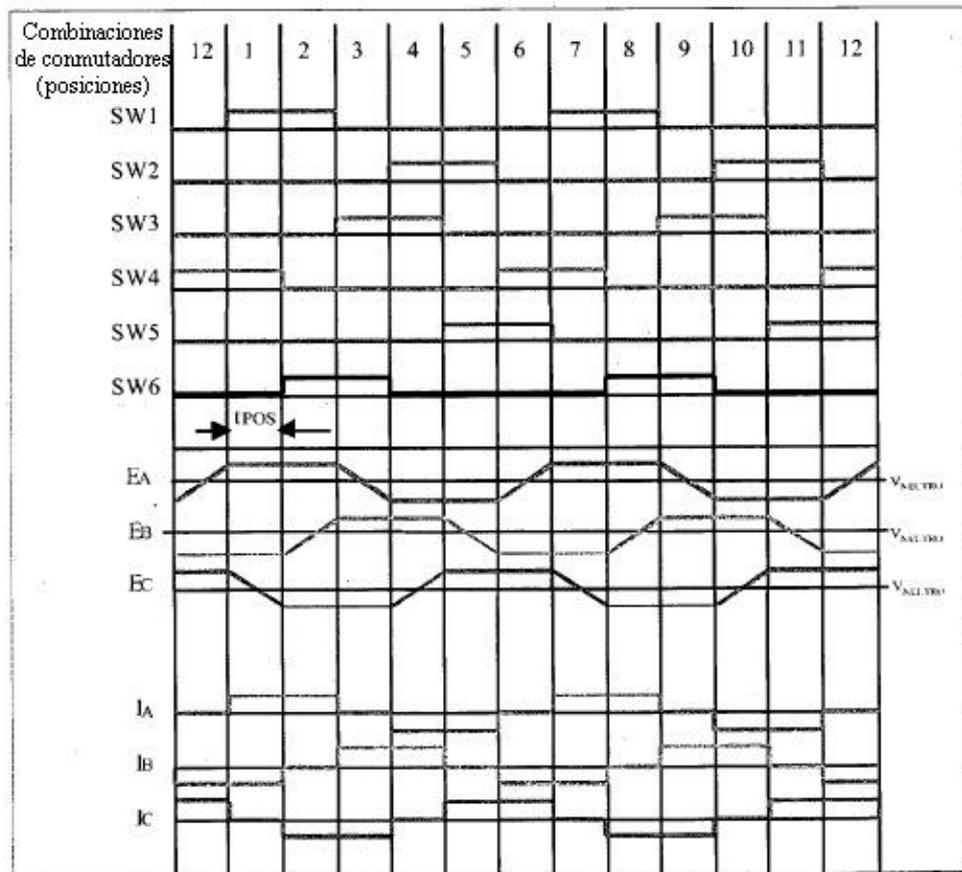


FIGURA 2

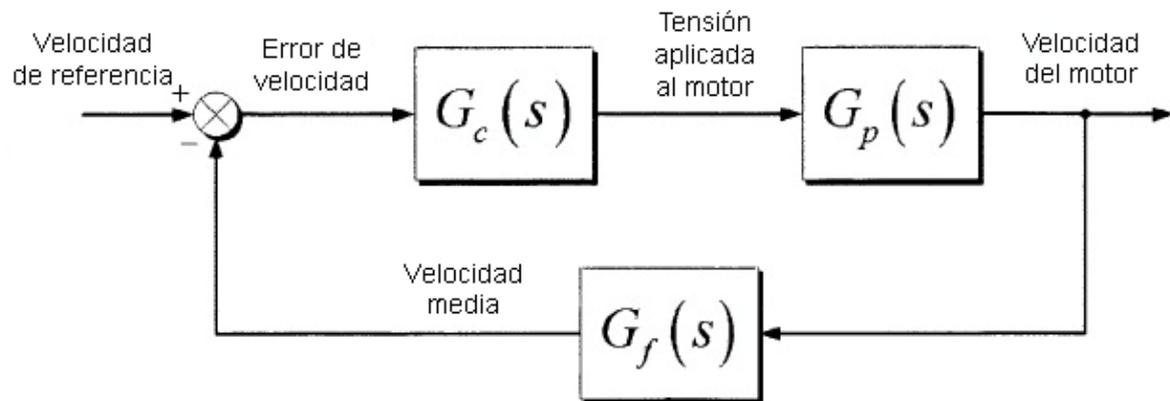
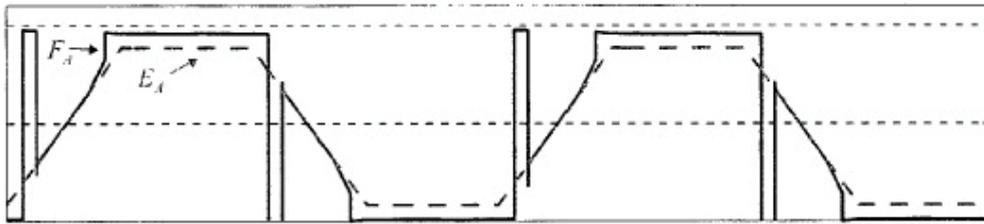
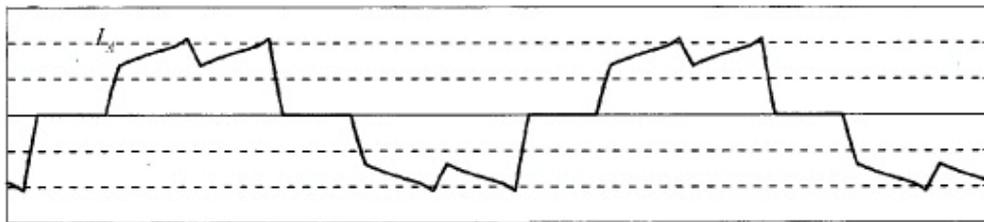


FIGURA 3

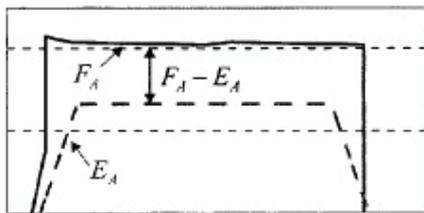


(a)

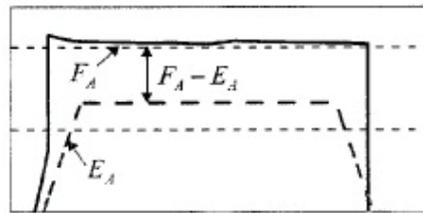


(b)

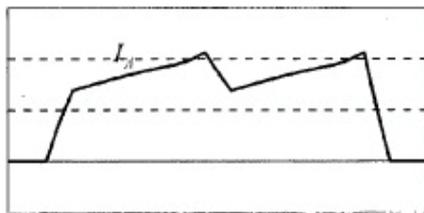
FIGURA 4



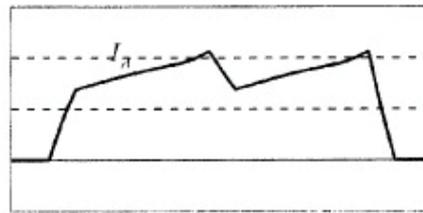
(a)



(c)



(b)



(d)

FIGURA 5

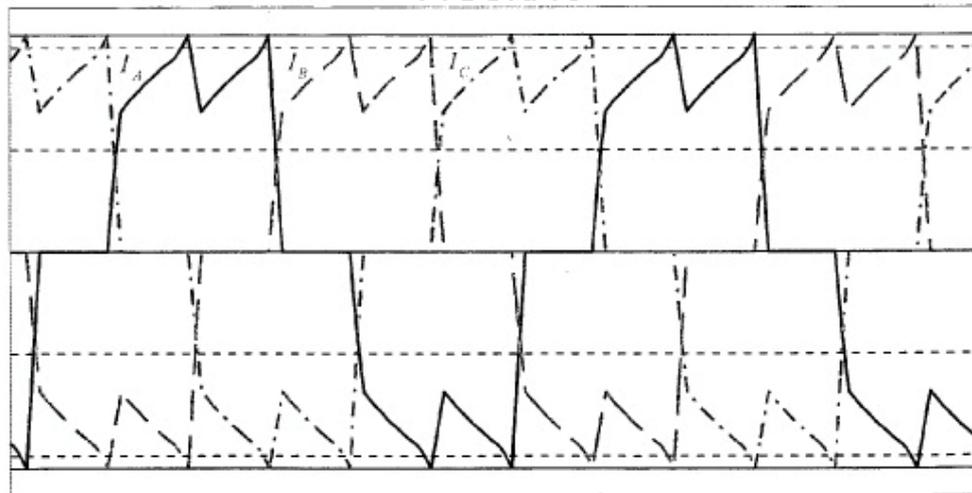
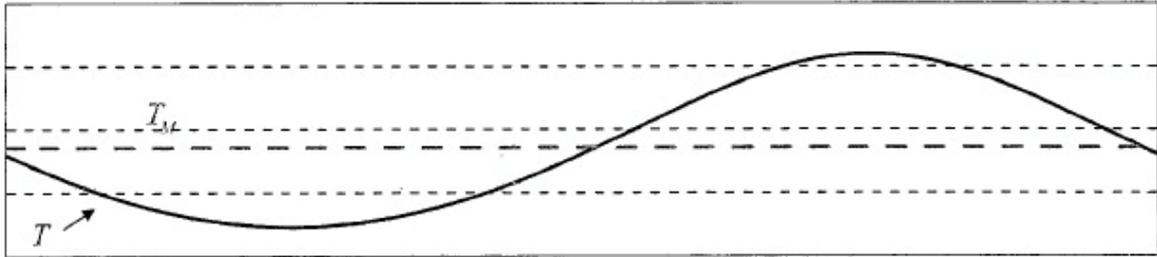
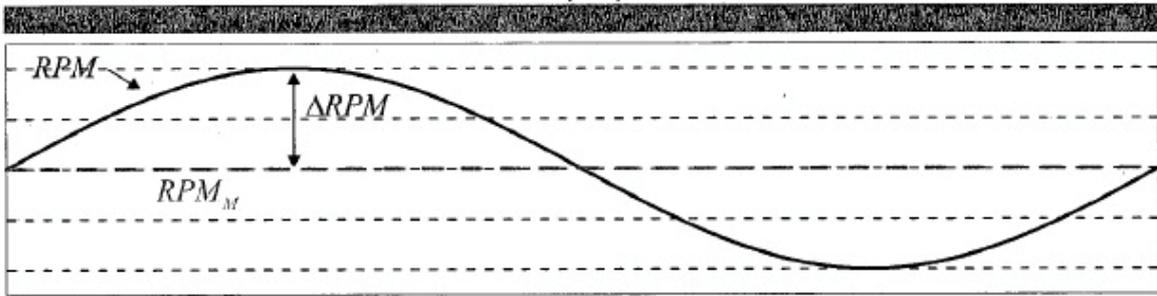


FIGURA 6

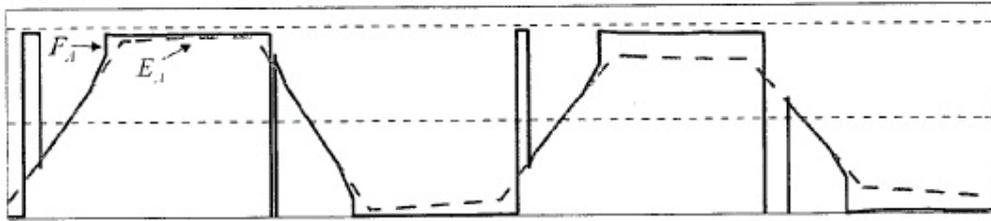


(a)

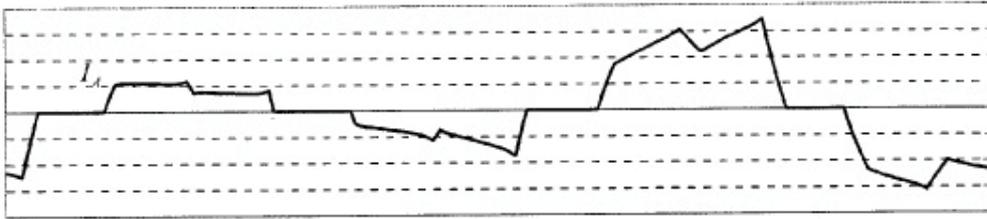


(b)

FIGURA 7

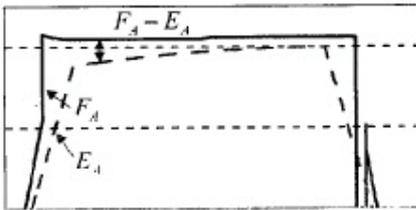


(a)

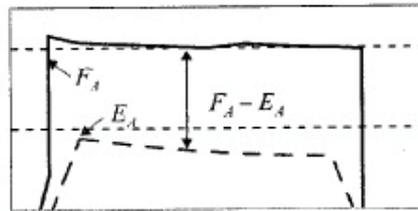


(b)

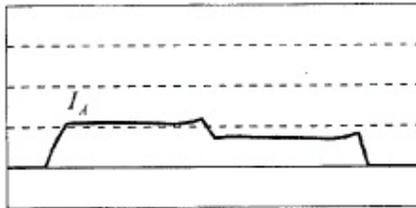
FIGURA 8



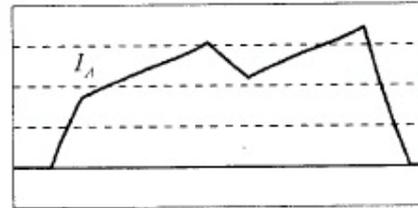
(a)



(c)



(b)



(d)

FIGURA 9

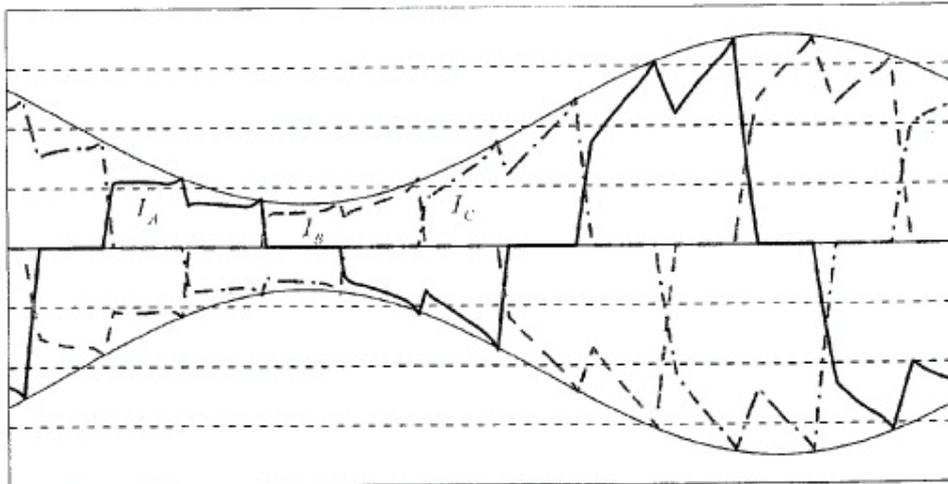


FIGURA 10

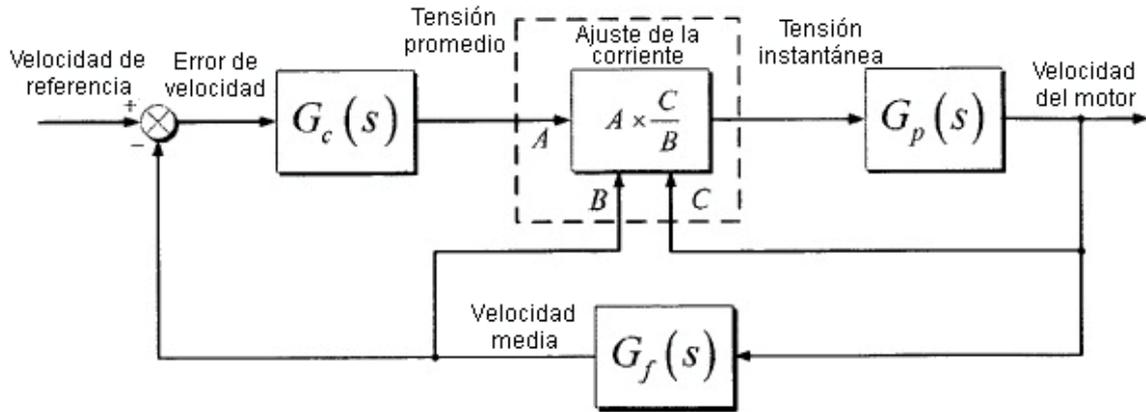
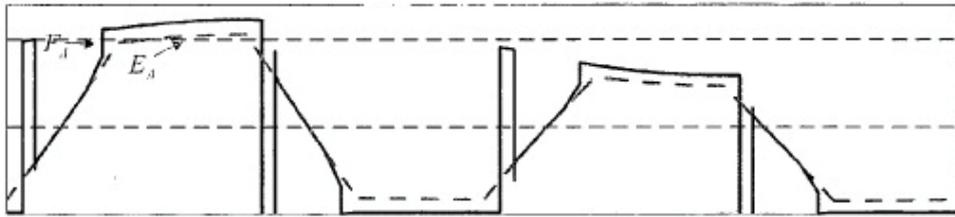
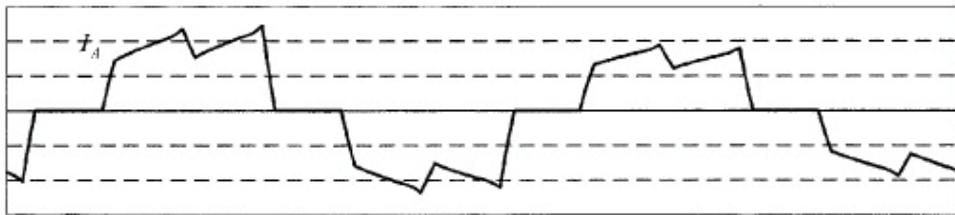


FIGURA 11

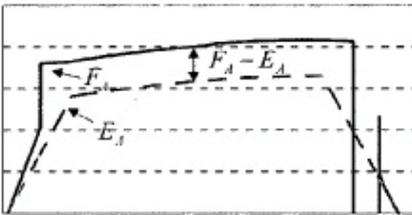


(a)

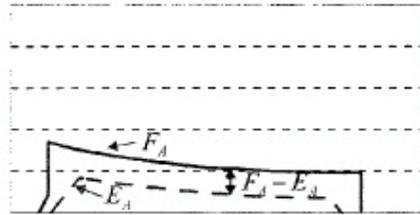


(b)

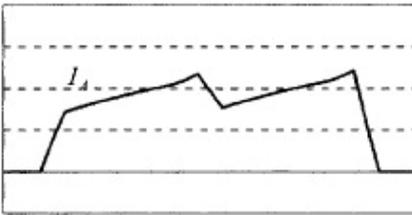
FIGURA 12



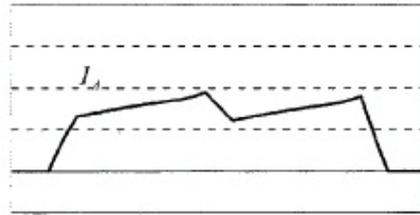
(a)



(c)



(b)



(d)

FIGURA 13

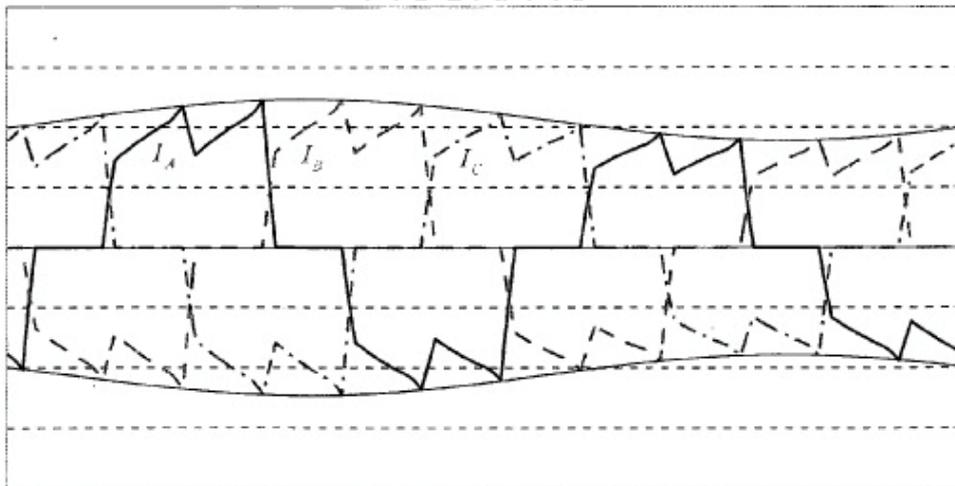


FIGURA 14

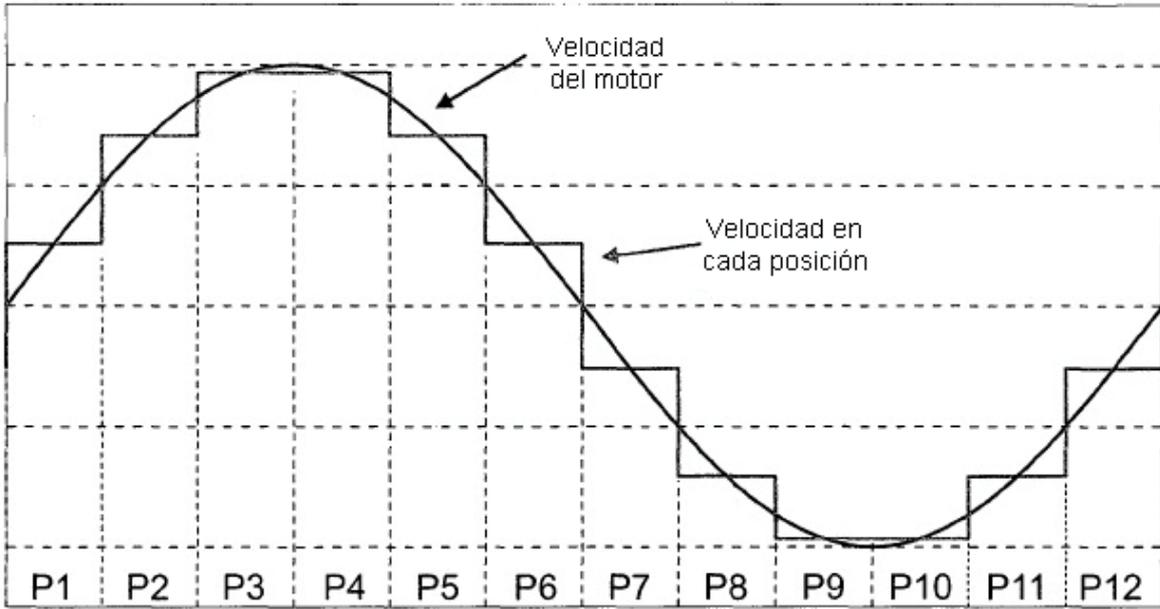


FIGURA 15

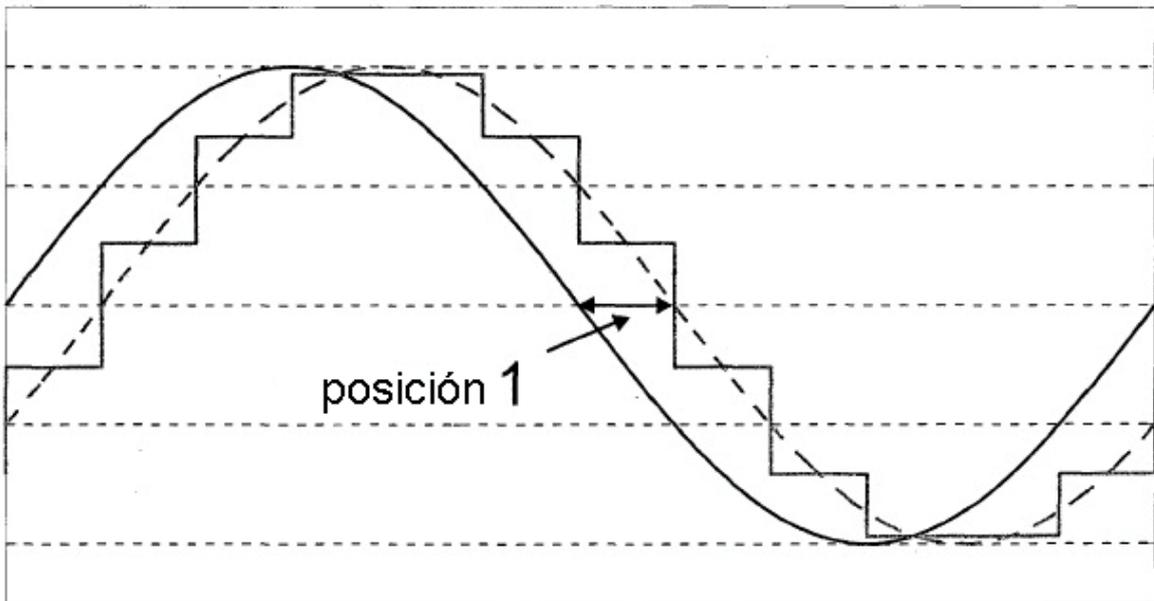
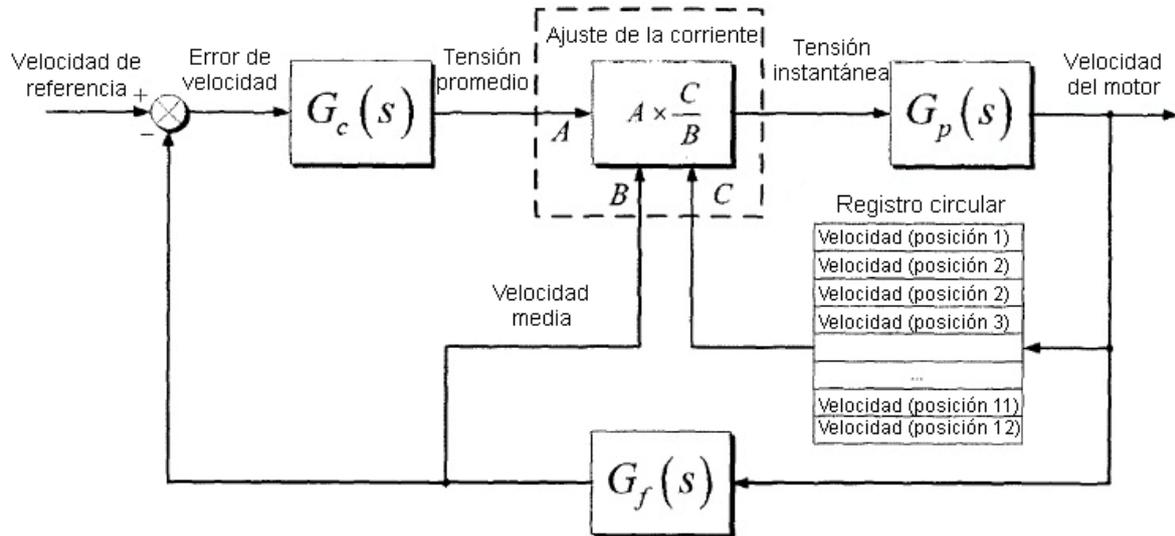


FIGURA 16



**REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN**

*Esta lista de referencias citadas por el solicitante es únicamente para la comodidad del lector. No forma parte del documento de la patente europea. A pesar del cuidado tenido en la recopilación de las referencias, no se pueden excluir errores u omisiones y la EPO niega toda responsabilidad en este sentido.*

**Documentos de patentes citados en la descripción**

- US 6922027 B