



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 282 840**

51 Int. Cl.:  
**F04B 35/04** (2006.01)  
**F04B 49/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **04700658 .0**  
86 Fecha de presentación : **08.01.2004**  
87 Número de publicación de la solicitud: **1583909**  
87 Fecha de publicación de la solicitud: **12.10.2005**

54 Título: **Un sistema de control de un compresor lineal, un método para controlar un compresor lineal, un compresor lineal y un sistema de refrigeración.**

30 Prioridad: **08.01.2003 BR 0300010**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**16.10.2007**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**16.10.2007**

73 Titular/es: **WHIRLPOOL S.A.**  
**Avenida das Nações Unidas 12995, 32º andar**  
**04578-000 São Paulo SP, BR**

72 Inventor/es: **Dainez, Paulo, Sérgio y**  
**Lilie, Dietmar, Erich, Bernhard**

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 282 840 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**

Un sistema de control de un compresor lineal, un método para controlar un compresor lineal, un compresor lineal y un sistema de refrigeración.

La presente invención se refiere a un sistema para controlar un pistón de un compresor lineal, a un método de controlar un pistón de un compresor lineal, así como también a un compresor lineal, particularmente aplicables a sistemas de refrigeración que pueden incluir, por ejemplo, frigoríficos, sistemas de acondicionamiento de aire y similares.

**Descripción de la técnica anterior**

Como se sabe de la técnica anterior, un compresor lineal está usualmente insertado en un medio a baja presión, en que un gas a baja presión es aspirado por el compresor que lo comprime y libera dentro de un medio a alta presión asociado con un circuito de refrigeración, estando herméticamente aislados entre sí el medio a baja presión y el medio a alta presión.

El mecanismo de compresión de aire es hecho funcionar por el movimiento axial de un pistón dentro de un cilindro, estando instaladas una válvula de aspiración y una válvula de descarga en un cabezal que regula la entrada de gas en el cilindro y la salida del gas hacia afuera del cilindro. El pistón es movido por un accionador que está formado por un soporte y un imán, siendo accionado el último por un resorte helicoidal que forma un conjunto resonante del compresor.

El conjunto resonante, accionado por el motor lineal, tiene la función de desarrollar un movimiento alternativo lineal, haciendo que el movimiento del pistón en el interior del cilindro ejerza una acción de compresión del gas admitido desde la válvula de aspiración hasta el punto en que pueda ser descargado en el lado de alta presión a través de la válvula de descarga.

La amplitud del funcionamiento del compresor lineal es regulada con el equilibrio de la corriente generada por el motor y la corriente consumida por el mecanismo al comprimir el gas más otras pérdidas. A fin de extraer la máxima capacidad de bombeo del compresor, es necesario aproximar el pistón tanto como sea posible al plato de válvula, pero impidiendo que bombee. Para hacer esto posible, deberá conocerse con exactitud la amplitud del funcionamiento, y cuanto mayor sea el error estimado tanto mayor deberá ser la distancia de seguridad para impedir la colisión del pistón con el plato de válvula. La colisión del pistón genera ruido y puede dañar al compresor, dependiendo de las soluciones de construcción del último.

Además de la precisión estimada de la posición del pistón, la estabilidad de funcionamiento es igualmente importante. Si la amplitud de funcionamiento varía con el tiempo, se perjudicará también la proximidad del pistón al plato de válvula, o el pistón puede colisionar.

Otra característica de dicho mecanismo lineal es la posibilidad de variar su capacidad de bombeo. Reduciendo la potencia del motor, se disminuye la amplitud de funcionamiento y, a su vez, también la capacidad de bombeo.

En el documento WO 01/54253 se describe uno de los sectores de la técnica anterior en que se ha previsto la necesidad de impedir la colisión del pistón con el plato de válvula. De acuerdo con las enseñanzas de este documento, se proporcionan un sistema y un método aplicables a un compresor lineal, por medio de los cuales se prevé la medición de una primera onda cuadrada obtenida integrando la corriente aplicada al motor y una segunda onda cuadrada obtenida de la tensión aplicada al motor. Sobre la base de estas mediciones, el movimiento del pistón es efectuado por medio de un TRIAC, que evalúa la diferencia entre las fases de la primera onda cuadrada y de la segunda onda cuadrada. Por consiguiente, el pistón funciona en una posición más próxima al plato de válvula.

A pesar de reducir las probabilidades de que el pistón colisione con el plato de válvula, el objeto del documento WO 01/54253 no aborda los problemas resultantes de posibles desequilibrios relativos a la estabilidad del propio sistema en conjunto y, por consiguiente, el sistema puede funcionar en condiciones no ideales en cuanto a estabilidad.

Además, otro inconveniente resultante de la construcción propuesta en el documento WO 01/54253 reside en el hecho de que se vigila la fase por medio de ondas cuadradas. Dicho enfoque tiene el resultado de que para obtener la diferencia entre las fases será necesario ampliar los circuitos electrónicos o los programas informáticos que efectúen la integración de la corriente, que generan las ondas cuadradas primera y segunda descritas aquí y que calculen la diferencia en fase entre la primera onda cuadrada y la segunda onda cuadrada. Sin embargo, tal construcción y el proceso resultante presentan un alto coste de fabricación, además de disminuir la fiabilidad, ya que necesitan circuitos para realizar estas conversiones, lo que, debido a la gran cantidad de componentes implicados, reduce la fiabilidad del sistema, a causa de que cada componente adicional presenta una mayor probabilidad de fallo. La opción de implementar el dispositivo descrito en el documento por medio de un programa informático da también por resultado un alto coste, ya que, en este caso, con el enfoque usado, se requiere un microcontrolador excesivamente sofisticado, y también hay un alto coste.

En el documento US 5.342.176 se describe otra rama de la técnica anterior relacionada con la presente invención. De acuerdo con las enseñanzas de este documento, se proporciona un método y un aparato para medir la posición de

un pistón en un compresor, a partir de la cual se mide la tensión y la corriente aplicadas al motor del compresor para controlar el movimiento del pistón. Una de las ventajas de la invención descrita en este documento reside en el hecho de que el enfoque requiere un cálculo específicamente asociado con el desarrollo del pistón, sin tener en consideración, por ejemplo, los cambios de temperatura y en el enfriador, que pudieran conducir a errores en la resolución del sistema.

5 En el documento US 2002/093327, que se refiere a un aparato y a un método para detectar sacudidas de la carrera de un compresor lineal, se describe otra rama de la técnica anterior relacionada con la presente invención. Un compresor lineal funciona defectuosamente debido al cambio de una tensión o ruido externos a causa de que la sacudida de la carrera es detectada por las cantidades de cambio en el golpe o en la corriente. De acuerdo con las enseñanzas de este documento, para resolver el anterior problema, un aparato de control de un compresor incluye un calculador de diferencia de fase de golpe/corriente para calcular las diferencias de fase de la carrera y de la corriente usando el golpe y la corriente, que son determinadas por el incremento y la reducción de la carrera debido a la tensión generada por un compresor lineal, un calculador de las cantidades de cambio de la diferencia de fase para calcular las cantidades de cambio de diferencia de fase usando las diferencias de fase calculadas de la carrera y de la corriente, un detector de sacudidas para comparar las cantidades de cambio de diferencia de fase calculadas con un valor de referencia para determinar si se detecta la sacudida de la carrera, para determinar así la sacudida de la carrera, y un controlador de golpe para recibir una señal de detección de sacudidas de golpe desde el detector de sacudidas de golpe y cambiar la tensión de la carrera de acuerdo con la magnitud de la respuesta de la capacidad de enfriamiento, que es determinada por el cambio en la carga, para controlar así el accionamiento del compresor lineal, durante el funcionamiento del compresor lineal.

### Sumario y objetos de la invención

Los objetos de la presente invención son proporcionar un sistema para controlar el movimiento de un pistón de un compresor lineal y un método de controlar un pistón, que impiden que el pistón choque contra el plato de válvula, con la presión necesaria para que el sistema sea eficaz.

Un parámetro variable para controlar la amplitud del compresor puede ser la tensión de alimentación del motor eléctrico. Desde la tensión de la alimentación hasta el logro de la amplitud deseada hay diversas impedancias acopladas, tales como la resistencia del motor eléctrico, la inductancia del motor, la capacitancia si se usa un condensador, la fuerza de contra-electro-excitación, las impedancias del sistema resonante (masa/resorte) y el trabajo de compresión con sus pérdidas inherentes. La impedancia de este sistema depende de la respectiva frecuencia de excitación, es decir, la frecuencia de la tensión aplicada al motor. A cierta frecuencia, la salida de este sistema es óptima, y esto se produce cuando el sistema mecánico pasa a resonancia. A esta frecuencia el rendimiento del compresor lineal es máximo.

La frecuencia de resonancia del mecanismo no está perfectamente fijada, ya que el gas que ha de ser comprimido tiene un efecto mecánico similar al de un resorte, que puede designarse como "resorte de gas". El "resorte de gas" es afectado principalmente por dos factores:

- (i) la distancia de pistón/plato de válvula; e
- (ii) las presiones con que el compresor funciona o la presión de funcionamiento.

La distancia de pistón/plato o factor de acercamiento se altera cuando se reduce la carrera del pistón, generando un aumento en el resorte de gas y en la resonancia del mecanismo (este efecto es más relevante para la estabilidad de funcionamiento del mecanismo).

En un sistema de refrigeración estos dos factores -el factor de acercamiento y la presión de funcionamiento- cambian sustancialmente, la presión de funcionamiento varía desde el momento en que el sistema se conecta hasta que se alcanza el valor nominal de funcionamiento, mientras que el valor nominal de funcionamiento es afectado por la temperatura ambiente y la temperatura interna del enfriador, siendo alterada la distancia de pistón/plato cuando el sistema necesita que tenga lugar más o menos capacidad de refrigeración en un recorrido más largo o más corto y que se aplique tensión al motor para que el último funcione adecuadamente.

Así, la frecuencia de resonancia del sistema mecánico varía debido a los diversos factores citados.

Para abordar los problemas de una manera eficaz, sería recomendable tener un dispositivo electrónico que pudiera variar la frecuencia de la tensión aplicada al motor, para mantener siempre el mecanismo a la resonancia. Sin embargo, un dispositivo electrónico de este tipo, en el actual estado de la técnica, no es eficaz y su coste es considerablemente alto. Por esta razón, el sistema para controlar el movimiento de un pistón en un compresor lineal, así como también el respectivo método de controlar el propio compresor, que son objetos de la presente invención, pretenden controlar la tensión, impidiendo así altos costes para controlar la frecuencia de oscilación de la tensión.

Uno de los problemas que resulta de este enfoque reside en el hecho de que hay diversas impedancias conectadas entre la tensión aplicada al motor hasta el mecanismo del compresor lineal. Un ejemplo del efecto de estas impedancias da por resultado las siguientes situaciones.

Para casos en que la frecuencia de resonancia varíe para factores mayores, es decir, en los casos en que la frecuencia

## ES 2 282 840 T3

de resonancia sea más alta que la frecuencia de alimentación del motor (la última es siempre constante), será necesario que la frecuencia de alimentación del motor sea incrementada para mantener el pistón con la misma amplitud que la disponible a la frecuencia de resonancia.

5 Partiendo de otro punto de vista, cuando la frecuencia de resonancia disminuye, es decir, cuando la frecuencia de resonancia es también más alta que la frecuencia de alimentación, pero la amplitud de funcionamiento del pistón decrece, la frecuencia de resonancia aumentará, y también se darán situaciones en que la tensión aplicada al motor deba ser más alta para mantener el pistón a una amplitud más baja. Este comportamiento genera inestabilidad en el control y puede volver al mecanismo incontrolable.

10 Los objetos de la presente invención son un sistema para controlar un compresor lineal, un método de controlar un compresor lineal, un compresor lineal, y un sistema de refrigeración. El pistón es controlado de manera que la tensión aplicada al motor puede ser corregida constantemente en función de las características de funcionamiento del compresor, por ejemplo, debido al “resorte de gas” y para que la tensión alcance el nivel requerido para mantener el pistón siempre en movimiento estable independientemente de las condiciones del sistema.

15 Como resultado del anterior objeto, un objeto adicional de la presente invención es proporcionar un sistema para controlar un compresor lineal, un método de controlar un compresor lineal, un compresor lineal y un sistema de refrigeración, en el que el compresor funciona a cualquier amplitud de una manera estable independientemente de estar o no sincronizado, con lo que se puede corregir la tensión aplicada al motor independientemente de la fase, e incluso mantener el sistema estable.

20 Al mismo tiempo, el sistema para controlar un compresor lineal, un método de controlar el compresor lineal, un compresor lineal y el sistema de refrigeración deberán proporcionar una construcción que sea de ejecución sencilla, con un número reducido de componentes electrónicos y, además, que sea todavía una construcción con un microprocesador o un microcontrolador de bajo coste.

25 Los objetos de la presente invención se consiguen por medio de un sistema para controlar un compresor lineal, comprendiendo el compresor lineal: un conjunto móvil; un motor alimentado por una tensión de aplicación, un dispositivo de conmutación electrónico; y un circuito electrónico que controla el dispositivo de conmutación electrónico para controlar la tensión de aplicación aplicada al motor, y el motor que acciona el conjunto móvil; el circuito electrónico mide una fase de accionamiento de la corriente que circula en el motor y una fase dinámica del conjunto móvil y establece una relación entre la fase de accionamiento y la fase dinámica, determinando una fase medida, caracterizándose el sistema porque el circuito electrónico obtiene un valor de una tensión de corrección a partir del valor de la fase medida, el circuito electrónico obtiene un valor de una tensión definida desde una posición física del conjunto móvil, el circuito electrónico actúa sobre el valor de la tensión de aplicación procedente de la suma de la tensión de corrección y de la tensión definida. La fase dinámica puede obtenerse de la velocidad de desplazamiento del conjunto móvil, o de la comparación del valor de la medición de la posición física del conjunto móvil con la posición física definida previamente establecida.

30 Los objetos se consiguen además por medio de un método de controlar un compresor lineal, comprendiendo el compresor lineal un conjunto móvil; un motor alimentado por una tensión alterna de aplicación, que genera una corriente circulante; medir una fase de accionamiento de la corriente de circulación en el motor; medir una fase dinámica del conjunto móvil, establecer una relación entre la fase de accionamiento y la fase dinámica, determinar una fase medida; caracterizándose el método por comprender las etapas de establecer una relación entre la fase medida y una posición física del conjunto móvil, determinar una posición preferible del conjunto móvil; establecer una relación entre la fase medida y la posición preferible; obtener una tensión de aplicación que ha de ser aplicada al motor. El valor de la tensión puede alterarse de manera proporcional al valor de la tensión de aplicación obtenida.

35 Los objetos de la presente invención se consiguen además por medio de un compresor lineal que comprende: un conjunto móvil situado dentro de una cámara de presurización y que está asociado operativamente con un resorte, moviéndose el conjunto móvil axialmente dentro de la cámara de presurización; un motor alimentado por una tensión de aplicación, que genera una corriente circulante en el motor; un dispositivo de conmutación electrónico; y un circuito electrónico que controla el dispositivo de conmutación electrónico, para controlar la tensión de aplicación aplicada al motor, y el motor que acciona el conjunto móvil; en que el circuito de control mide una fase de accionamiento de la corriente circulante en el motor y una fase dinámica del conjunto móvil y establece una relación entre la fase de accionamiento y la fase dinámica, que determina una fase medida, caracterizándose el compresor lineal porque el circuito de control altera el valor de la tensión de aplicación aplicada al motor de manera proporcional al valor de la fase medida.

40 Además, los objetos de la presente invención se consiguen por medio de un sistema de refrigeración que incluye un compresor lineal que comprende un conjunto móvil situado dentro de una cámara de presurización y que está operativamente asociado con un resorte, moviéndose el conjunto móvil axialmente dentro de la cámara de presurización, un motor alimentado por una tensión de aplicación, que genera una corriente circulante en el motor, un dispositivo de conmutación electrónico, y un circuito electrónico que controla el dispositivo de conmutación electrónico para controlar la tensión aplicada al motor, y al motor que acciona el conjunto móvil, midiendo el circuito de control una fase de la corriente de accionamiento que circula en el motor y una fase dinámica del conjunto móvil y estableciendo una

## ES 2 282 840 T3

relación entre la fase de accionamiento y la fase dinámica, determinar una fase medida, alterando el circuito de control el valor de la tensión aplicada al motor de manera proporcional al valor de la fase medida.

### Breve descripción de los dibujos

5 Se describirá ahora la presente invención con mayor detalle haciendo referencia a una realización representada en los dibujos, en que:

10 La figura 1 es una vista en sección transversal esquemática de un compresor lineal, en el que pueden aplicarse las enseñanzas de la presente invención;

15 La figura 2 muestra un gráfico que indica, sobre el eje horizontal, la frecuencia relativa a la frecuencia de resonancia ( $f/f_0$ ), que representa la distancia en que el pistón del compresor está funcionando desde la frecuencia de resonancia, y, sobre el eje vertical, la tensión necesaria para que el mecanismo funcione a una amplitud constante;

La figura 3 muestra un gráfico de la relación entre las fases, como se ilustra en la figura 2, así como también la relación con la tensión;

20 La figura 4a muestra un gráfico que ilustra la relación entre las fases y la tensión para mantener el mecanismo a la misma amplitud de funcionamiento en un ejemplo en que la fase está adelantada 40 grados;

La figura 4b muestra un gráfico que ilustra la relación entre las fases y la tensión para mantener el mecanismo a la misma amplitud de funcionamiento en un ejemplo en que la fase está retardada 40 grados;

25 La figura 5 muestra un gráfico que ilustra el comportamiento entre la fase y la tensión para alterar la tensión de aplicación y que ilustra el valor de la tensión definida;

La figura 6 muestra un gráfico que ilustra el comportamiento entre la fase y la tensión de corrección;

30 La figura 7 muestra un ejemplo de medición hecha sobre un compresor lineal;

La figura 8 muestra un diagrama de bloques de un sistema de refrigeración de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención; y

35 La figura 9 muestra un diagrama de bloques de un sistema de refrigeración de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención, que ilustra los efectos de controlar la tensión en el motor;

### Descripción detallada de las figuras

40 Como puede verse en la figura 1, el compresor lineal 10 está insertado en un entorno de baja presión 11, en que es aspirado gas a baja presión por el compresor lineal 10 que lo comprime y libera dentro de un entorno de alta presión 11'. Como ya se ha descrito, un compresor lineal 10 comprende básicamente un pistón 1 o un conjunto móvil 1 situado dentro de un cilindro o cámara de presurización 2 y que se mueve axialmente dentro de la última, moviéndose el conjunto móvil 1 hacia un cabezal 3.

45 En el cabezal 3 hay válvulas de aspiración 3a y válvulas de descarga 3b que regulan la entrada y la salida de gas hacia dentro y hacia fuera del cilindro 2, siendo accionado el conjunto móvil 1 por un accionador o motor 1' que comprende un soporte 4 y un imán 5. El conjunto móvil 1 está asociado además con un resorte helicoidal 3 que forma un conjunto resonante del compresor lineal 10.

50 El mecanismo de compresión de gas, como ya se ha descrito en lo que antecede, tiene lugar por el movimiento axial del conjunto móvil 1 dentro del cilindro 2 que se mueve en el sentido de cabezal 3 o en el sentido opuesto, configurando así una amplitud de desplazamiento.

55 Con miras a resolver los problemas de estabilidad mencionados en lo que antecede, de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención, se prevé una solución que aborda el problema vigilando la corriente aplicada al motor 1', a fin de impedir la colisión del conjunto móvil 1 con el cabezal 3, en que está situado el plato de válvula 3'.

60 Se sabe que la corriente aplicada al motor 1' está en fase con la velocidad del conjunto móvil 1 cuando el mecanismo está funcionando a la resonancia. Sin embargo, es necesario considerar que la fase  $\varphi$  varía a medida que se mueve hacia afuera de la resonancia (véase la figura 3).

65 Las figuras 2 y 3 ilustran el comportamiento de un sistema de refrigeración, en el que la frecuencia varía. Por tanto, debido a las impedancias conectadas entre la tensión aplicada al motor 1' hasta el conjunto móvil 1 del compresor lineal 10, la frecuencia de resonancia  $f_0$  tiene el comportamiento ilustrado en la figura 2. Como puede verse, hay una variación en la frecuencia de resonancia  $f_0$  para factores más altos, sabiendo que la frecuencia  $f$  a que se alimenta el motor 1' permanece constante, la región correspondiente en el gráfico se encuentra a la derecha de la frecuencia de

## ES 2 282 840 T3

resonancia  $f_0$  (en el punto derecho  $f/f_0$  igual a 1), lo que significa deberá aumentarse la tensión necesaria para mantener el conjunto móvil 1 a la misma amplitud de desplazamiento.

5 Además, como puede verse en la figura 2, cuando la frecuencia de resonancia  $f_0$ , disminuye, la región correspondiente está también situada a la derecha de la frecuencia de resonancia  $f_0$  (a la derecha de  $f/f_0$  igual a 1). En este caso, de manera análoga a como se recomendó en lo que antecede, cuando disminuye la amplitud de funcionamiento del conjunto móvil 1, aumenta la frecuencia de resonancia y de este modo se dan situaciones en que, para mantener el conjunto móvil 1 a una amplitud de desplazamiento menor, la tensión aplicada al motor 1' deberá ser más alta, generando la inestabilidad en el control, que puede hacer al mecanismo incontrolable, y pueden tener lugar impactos del conjunto móvil 1 contra el cabezal 3.

10 Sobre la base de la información anterior, puede establecerse una corrección de la tensión con la fase  $\varphi$  (véase la figura 4), de manera que el algoritmo de control no percibirá el comportamiento del gráfico ilustrado en la figura 2 o, en otras palabras, aun cuando el compresor lineal 10 funcione fuera de fase, la amplitud de movimiento del conjunto móvil 1 deberá permanecer constante controlando el nivel de tensión aplicado al motor 1'.

20 Además, haciendo referencia a las figuras 3, 4a y 4b, puede hacerse notar que el gráfico ilustrado en la figura 3 muestra la fase y la tensión sobre el mismo gráfico, en que puede verse que, cuando la fase  $\varphi$  es cero, el mecanismo está sincronizado. Por otra parte, en el gráfico ilustrado en las figuras 4a y 4b, puede verse, sobre el eje horizontal, la fase en cuestión y sobre el eje vertical la tensión para mantener el mecanismo a la misma amplitud de funcionamiento, siendo usada esta información por el algoritmo de control.

Matemáticamente, lo anterior es como sigue:

$$25 \quad V' = V - C(\varphi)$$

en que:

30  $V$  es una tensión aplicada al motor;

$V'$  es una tensión corregida usada por el algoritmo de control;

35  $C(\varphi)$  es la corrección de tensión en función de la fase, por ejemplo,  $K\varphi$ , en que  $K$  es una constante proporcional que multiplica la fase; y

$\varphi$  es la fase entre la corriente y la velocidad del conjunto móvil, que puede obtenerse también midiendo la distancia entre el cero de la corriente y el instante de desplazamiento máximo del conjunto móvil.

40 Como se sabe, el valor de la fuerza del motor es proporcional a la corriente, de manera que para facilitar el sistema es más recomendable medir la corriente directamente a fin de obtener el valor de la fase de accionamiento  $\varphi_c$ .

45 Con respecto al valor de la fase dinámica  $\varphi_p$ , puede obtenerse midiendo directamente un punto de desplazamiento del conjunto móvil 1, pero puede obtenerse este valor leyendo la velocidad del conjunto móvil 1, siendo suficiente para integrar este valor para alcanzar la magnitud de posición otra vez, ya que la velocidad y el desplazamiento del conjunto móvil 1 están a 90 grados entre sí.

50 Como puede verse en la figura 8, el objeto de la presente invención puede ser realizado por medio de un sistema para controlar un compresor lineal 10 que comprende los bloques ilustrados, y dicho sistema de control puede aplicarse, por ejemplo, a un sistema de refrigeración. Este diagrama está formado por tres bloques que representan el bloque de control 50 del sistema para controlar un compresor lineal 10, el bloque de compresor 54 y el bloque de refrigeración 56.

El bloque de control 50 comprende:

- 55
- un circuito electrónico 51 que puede incluir un microprocesador y sus periféricos (no mostrados), y
  - un TRIAC o dispositivo de conmutación electrónico 52.

60 Dichos dispositivos pueden ser sustituidos evidentemente por otros equivalentes, siempre que satisfagan las necesidades del objeto de la presente invención. Así, en lugar de un microprocesador, puede usarse un microcontrolador o si no usarse componentes discretos, mientras que el TRIAC puede ser sustituido por otros dispositivos equivalentes.

El bloque de compresor 54, a su vez, comprende:

- 65
- un compresor lineal 10 apropiado, y

## ES 2 282 840 T3

- un sensor de desplazamiento 55 de cualquier tipo. Algunos tipos de sensores aplicables a este caso pueden incluir sensores inductivos, sensores de contactos, un sensor de acelerómetro o cualquiera otro tipo equivalente, y todos ellos deberán tener la capacidad de vigilar la colocación del conjunto móvil dentro del cilindro 2.

5 El bloque de refrigeración 56 comprende:

- el propio sistema de refrigeración 57, que incluye todo el circuito de refrigeración (no mostrado);

10 - un sensor de temperatura 58 necesario para controlar la temperatura del entorno o medio a refrigerar, por ejemplo, dentro de un enfriador o dentro de un medio/recinto expuesto a un sistema de refrigeración; y

- un termostato electrónico 59.

15 Específicamente, el diagrama de bloques muestra que el bloque de control 50 recibe la señal desde la tensión de alimentación, cuyo valor es controlado por el conjunto formado por el circuito electrónico 51 asociado con el dispositivo de conmutación electrónico 52. Desde la entrada del dispositivo de conmutación electrónico 52, se mide una señal cero de la sobretensión de tensión ZT, que es alimentada al circuito electrónico 51, midiendo además la señal cero de la corriente que atraviesa el circuito o corriente circulante ZC a la salida del dispositivo de conmutación electrónico 52. El circuito electrónico 51 está también alimentado por la señal de desplazamiento del conjunto móvil  
20 o posición física DP del conjunto móvil 1 y la señal generada por el termostato electrónico 59.

Como puede verse en la figura 9, el algoritmo aplicado al sistema de control, al método de control, así como también al compresor lineal y al sistema de refrigeración de la presente invención, es controlado por el circuito electrónico 51 que recibe las señales indicadas en lo que antecede.

25

Por tanto, de acuerdo con esta realización preferida las señales de nivel cero de tensión ZT de la tensión aplicada al motor 1' y de nivel cero de corriente ZC de la corriente que circula en el motor 1', así como también el desplazamiento del conjunto móvil DP son interpretadas para obtener:

30 - la fase de corriente en función de una referencia dada o, en otras palabras, la fase de accionamiento  $\varphi_C$ , y

- la fase de punto máximo o, en otras palabras, la fase dinámica  $\varphi_p$  del desplazamiento del conjunto móvil 1, o la distancia más corta entre el conjunto móvil 1 y el cabezal 3, en función de la misma referencia de la fase de corriente en función de una referencia dada. Sustrayendo estos valores por la ecuación:

35

$$\varphi_{PC} = \varphi_p - \varphi_C$$

se obtiene el valor de la fase medida  $\varphi_{PC}$  entre el cero de la corriente ZC y el punto de movimiento máximo DPmax o posición preferible DPmax del conjunto móvil 1 y, puesto que el valor del valor de la tensión de corrección  $V_F$  generado desde la medición de la fase es función del valor de la fase medida  $\varphi_{PC}$  entre el cero de la corriente y el punto máximo de movimiento del conjunto móvil DPmax, se establece entonces esta relación.

Una de las maneras de obtener el valor de la tensión de corrección de acuerdo con las anteriores enseñanzas puede ser por medio de un algoritmo de control clásico en malla cerrada tal como un PID, por ejemplo. La función puede obtenerse directamente.

Además, con respecto a la medición del valor de la fase medida  $\varphi_{PC}$ , una posible manera de obtener dicha magnitud se realiza midiendo el instante de la extinción de la corriente hasta la medición del instante de disparo del dispositivo de conmutación electrónico 52; se calcula un primer instante medio de estos puntos. Asimismo, se mide el instante en que el conjunto móvil 1 ha pasado más allá del punto máximo de movimiento DPmax y el instante en que el pistón ha vuelto a un punto más alejado del cabezal 3 que el punto máximo del movimiento DPmax, calculando un segundo instante medio de estos valores. Partiendo del valor del primer instante medio y del segundo instante medio, se obtiene una diferencia de tiempo  $\Delta T$  que es proporcional a la fase entre el cero de la corriente y el punto máximo del movimiento DPmax. Si la diferencia en tiempo  $\Delta T$  para el periodo de un ciclo de la frecuencia de accionamiento del compresor lineal se multiplica por 360, se obtiene la fase en grados. Sin embargo, sabiendo que la diferencia en tiempo  $\Delta T$  es proporcional a la fase medida  $\varphi_{PC}$ , puede prescindirse del cálculo a partir de la frecuencia y, por consiguiente, reducirse las complicaciones del sistema.

60 Como se ha descrito en lo que antecede, puede obtenerse la fase de accionamiento  $\varphi_p$  directamente de la corriente, pero puede obtenerse también a partir de otros parámetros, tales como, por ejemplo, de la velocidad del conjunto móvil 1.

65 Sobre la base del valor de la señal de la posición física DP alimentada al circuito electrónico 51 y del valor de la resistencia leído por el termostato electrónico 59, pueden establecerse los valores de desplazamiento máximo del conjunto móvil DPmax y del desplazamiento de referencia DP<sub>REF</sub> (un desplazamiento que se pretende que alcance una posición física definida) y, sustrayendo tales valores mediante la ecuación:

## ES 2 282 840 T3

$$E_{DP} = DP_{REF} - DP_{MAX}$$

se obtiene el valor del error  $E_{DP}$  entre el desplazamiento de referencia  $DP_{REF}$  y el desplazamiento máximo del conjunto móvil  $DP_{MAX}$ .

De este resultado, es posible obtener el valor de la tensión definida  $V_p$  establecida por el algoritmo de control, ya que el valor del último es función del valor del error  $E_{DP}$ .

Partiendo de los valores de la tensión de corrección generada por la fase y el valor de la tensión definida  $V_p$  por el algoritmo de control, se aplica la ecuación:

$$V_T = V_p + V_F$$

y se obtiene el valor de la tensión aplicada al motor 1' o la tensión de aplicación  $V_T$ . Dicha tensión de aplicación de valor  $V_T$  deberá ser regulada por el ángulo de disparo del dispositivo de conmutación electrónico 52 controlado por el circuito electrónico 51.

El valor/señal  $DP_{REF}$  es una información recibida desde un sistema externo tal como, por ejemplo, proveniente de un sistema de refrigeración, cambiando el valor/señal tratados por el sistema de la presente invención a un nivel DC.

La señal DP es generada por un transductor o cualquier sensor de desplazamiento 55 aplicado para medir la señal de recorrido del conjunto móvil 1, y el transductor puede ser, por ejemplo, un sensor inductivo. Como se sabe, la señal generada por un sensor de tipo inductivo es inversamente proporcional a la distancia del conjunto móvil 1 desde el cabezal 3. El valor de pico máximo de esta señal medido por el sensor inductivo será, en este ejemplo,  $DP_{MAX}$ , siendo  $DEP_{REF} - DEP_{MAX}$  el error del algoritmo de control.

La figura 7 ilustra un ejemplo de medición realizada en un compresor lineal 10, en que puede verse la señal DP generada por un inductor con su correspondiente coordinador de señal. Con cada aproximación del conjunto móvil 1 al plato de válvula 3', el sensor genera una tensión inversamente proporcional a esta distancia. Los valores de aproximación máximos de 1,8V vistos en el gráfico corresponden a la aproximación máxima del conjunto móvil, que es el valor  $DP_{MAX}$ .

Además, con respecto a las figuras 4a y 4b, puede observarse que, en una realización, el conjunto móvil 1 estará funcionando sin retardación de movimiento cuando la tensión de aplicación  $V_T$  sea igual a 110V. Considerando, como ejemplo, un punto en que la fase  $\varphi$  de la corriente circulante en el motor 1' es hecho avanzar 40 grados con respecto a la velocidad del conjunto móvil 1 (véase la figura 4a), la tensión de aplicación  $V_T$  será de aproximadamente 80V y deberá ser alta para que el conjunto móvil 1 continúe funcionando de una manera estable, es decir, independientemente de la fase, el conjunto móvil 1 funcionará sin riesgo de chocar contra el cabezal 3. Además, como puede verse, de este modo el sistema puede continuar funcionando fuera de fase sin interferir con el buen funcionamiento del compresor y del sistema de refrigeración cuando se use.

Puede observarse que el circuito electrónico 51, por medio del dispositivo de conmutación electrónico 52, deberá sustraer de la tensión definida  $V_p$  (en este caso igual a 110V) el valor de la tensión de corrección  $V_F$  (en este caso igual a 30V), de manera que el motor 1' puede ser alimentado con la tensión de aplicación  $V_T$  de 80V. Por consiguiente, el sistema para controlar un compresor lineal mantendrá el sistema funcionando de una manera equilibrada, impidiendo la colisión del conjunto móvil 1 con el cabezal 3, evitando así daños al compresor.

La figura 4b ilustra una situación en la que la fase  $\varphi$  de la corriente que circula en el motor 1' es retardada 40 grados con respecto con la velocidad del conjunto móvil 1. A fin de corregir este problema, la tensión definida  $V_p$  (que tiene un valor de 110V en el ejemplo) deberá tener el valor del valor de corrección  $V_F$  (en este caso los restantes 40V) añadido a ella, de manera que la tensión de aplicación será de 150V, como se ilustra en el gráfico. A partir de esta suma, el conjunto móvil 1 continuará funcionando de un modo equilibrado.

El valor de la tensión de corrección  $V_F$  puede obtenerse directamente por medio de una tabla de valores registrados en el circuito de control 51 o si no por medio de un factor que multiplique los valores medidos por una constante K, como en el ejemplo anteriormente citado. La figura 6 ilustra un gráfico en que puede verse, por ejemplo, la tensión de corrección  $V_F$  necesaria para cada fase, de manera que el sistema puede funcionar con equilibrio. Puede verse que la línea de la tensión  $V_T$  varía según la fase medida  $\varphi_{PC}$ , para mantener con ello el conjunto móvil 1 dentro de las condiciones esperadas, independientemente de la retardación entre la fase de accionamiento  $\varphi_C$  y la fase dinámica  $\varphi_P$  del conjunto móvil 1 y, por consiguiente, el efecto de "resorte de gas".

Las ventajas del objeto de la presente invención resultan del hecho de que es posible hacer funcionar el compresor lineal 10 con más estabilidad, permitiendo una aproximación mayor del conjunto móvil al cabezal 3, y del hecho de que es posible extraer una capacidad de bombeo mayor de un compresor dado y hacer funcionar el compresor lineal 10 en situaciones en que un algoritmo clásico no trabaja. Asimismo, el sistema de la presente invención evita el uso de microprocesadores o microcontroladores costosos, ya que el algoritmo empleado no entraña una pluralidad de rutinas

## ES 2 282 840 T3

en comparación con los sistemas de la técnica anterior, dando por resultado además la presente invención un número pequeño de componentes, lo que aumenta la fiabilidad del sistema.

5 Además, de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención, como puede verse en la figura 9, para implementar el uso del sistema para controlar un compresor lineal, deberán establecerse las siguientes etapas que son resultantes del uso del propio sistema y que son también aplicables al compresor y al enfriador de la presente invención:

- obtener el nivel cero de corriente  $ZC$  de la corriente que circula en el motor 1';
- 10 - medir la fase de accionamiento  $\varphi_C$  de la corriente que circula en el motor 1';
- obtener la fase cero de la tensión  $ZT$  de la tensión de aplicación  $V_T$  aplicada al motor 1';
- 15 - medir la fase dinámica  $\varphi_P$  del conjunto móvil 1';
- establecer la relación entre la fase de accionamiento  $\varphi_C$  y la fase dinámica  $\varphi_P$ , determinando una fase medida  $\varphi_{PC}$ , siendo sustraída la relación establecida del valor de la fase dinámica  $\varphi_P$  del valor de la fase de accionamiento  $\varphi_C$ ;
- 20 - establecer una relación entre la fase medida  $\varphi_{PC}$  y la posición física  $DP$  del conjunto móvil 1, determinando la posición preferible  $DP_{MAX}$  del conjunto móvil 1;
- comparar el valor de la posición preferida  $DP_{MAX}$  y la posición física definida  $DE_{REF}$  previamente establecida para obtener un valor de una tensión definida  $V_P$ ;
- 25 - alterar el valor del valor de aplicación  $V_T$  de manera proporcional al valor de la tensión de aplicación  $V_T$  obtenida, por medio de la suma de los valores de la tensión definida  $V_P$  y la tensión de corrección  $V_F$ .

Además, de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención, puede proporcionarse un compresor lineal que tiene las características de construcción ya descritas y que está provisto del circuito de control 51, midiendo la fase de accionamiento  $\varphi_C$  de la corriente que circula en el motor 1' y una fase dinámica  $\varphi_P$  del conjunto móvil 1 para establecer una relación entre la fase de accionamiento  $\varphi_C$  y la fase dinámica  $\varphi_P$ , que determina la fase medida  $\varphi_{PC}$ , alterando el circuito de control 51 el valor de la tensión de aplicación  $V_T$  aplicada al motor 1' de manera proporcional al valor de la fase medida  $\varphi_{PC}$ , que es también un sistema de refrigeración que tiene un compresor lineal. En estos casos, es posible construir un sistema de refrigeración que tiene mayor rendimiento y, al mismo tiempo, un coste bajo cuando se compara con los sistemas de la técnica anterior.

Habiéndose descrito realizaciones preferidas, deberá entenderse que el alcance de la presente invención abarca otras posibles variaciones, que están limitadas solamente por el contenido de las reivindicaciones que se acompañan, que incluyen las posibles equivalentes.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para controlar un compresor lineal (10), comprendiendo el compresor lineal (10):

- un conjunto móvil (1);

- un motor (1') alimentado por una tensión de aplicación ( $V_T$ ), un dispositivo de conmutación electrónico (52); y

- un circuito electrónico (51) que controla el dispositivo de conmutación electrónico (52) para controlar la tensión de aplicación ( $V_T$ ) aplicada al motor (1'), y accionando el motor (1') el conjunto móvil (1);

- el circuito electrónico (51) mide una fase de accionamiento ( $\varphi_C$ ) de la corriente que circula en el motor (1') y una fase dinámica ( $\varphi_P$ ) del conjunto móvil (1) y establece la relación entre la fase de accionamiento ( $\varphi_C$ ) y la fase dinámica ( $\varphi_P$ ), determinado una fase medida ( $\varphi_{PC}$ ) **caracterizándose** el sistema porque

- el circuito electrónico (51) obtiene un valor de una tensión de corrección ( $V_F$ ) a partir del valor de la fase medida ( $\varphi_{PC}$ ),

- el circuito electrónico (51) obtiene un valor de una tensión definida ( $V_P$ ) a partir de una posición física (DP) del conjunto móvil (1),

- el circuito electrónico (51) funciona en el valor de la tensión de aplicación ( $V_T$ ) a partir de la suma de la tensión de corrección ( $V_F$ ) y la tensión definida ( $V_P$ ).

2. Un sistema según la reivindicación 1, **caracterizado** porque la fase dinámica ( $\varphi_P$ ) se obtiene de una velocidad de desplazamiento del conjunto móvil (1).

3. Un sistema según la reivindicación 2, **caracterizado** porque el sistema electrónico (51) determina el valor de la tensión definida ( $V_P$ ) a partir de la comparación del valor de la medición de la posición física (DP) del conjunto móvil (1) con una posición física definida previamente establecida ( $DP_{REF}$ ).

4. Un sistema según la reivindicación 3, **caracterizado** porque el circuito electrónico (51) gobierna el dispositivo de conmutación electrónico (52) para aplicar tensión de aplicación ( $V_T$ ) al motor (1').

5. Un sistema según la reivindicación 4, **caracterizado** porque el circuito electrónico (51) obtiene el valor de la fase de accionamiento ( $\varphi_C$ ) a partir de la comparación de mediciones de fases de un nivel cero de tensión (ZT) de la tensión de aplicación ( $V_T$ ) aplicada al motor (1') con un nivel cero de corriente (CZ) de la corriente circulante en el motor (1').

6. Un sistema según la reivindicación 5, **caracterizado** porque el circuito electrónico (51) obtiene el valor de la fase dinámica ( $\varphi_P$ ) a partir de la comparación de mediciones de la posición física (DP) del conjunto móvil (1) con la medición del nivel cero de la tensión (ZT) aplicada al motor (1').

7. Un sistema según la reivindicación 6, **caracterizado** porque el valor de la tensión definida ( $V_P$ ) se obtiene a partir de una relación entre el valor de una posición física máxima ( $DP_{MAX}$ ) proporcional al valor de la posición física (DP) y la posición física definida ( $DE_{REF}$ ).

8. Un sistema según la reivindicación 7, **caracterizado** por ser aplicable en un sistema de refrigeración (57) que comprende un sensor de temperatura (58) asociado con un termostato electrónico (59), suministrando el termostato electrónico (59) el valor de la posición física definida previamente establecida ( $DE_{REF}$ ).

9. Un sistema según la reivindicación 8, **caracterizado** por comprender un sensor de desplazamiento (55) asociado con el circuito de control (51), recibiendo el circuito de control (51) el valor de la posición física (DP) del conjunto móvil (1).

10. Un sistema según la reivindicación 9, **caracterizado** porque la señal de nivel cero de tensión (ZT) de la tensión de aplicación ( $V_T$ ) aplicada al motor (1') se mide en la entrada del dispositivo de conmutación electrónico (52).

11. Un sistema según la reivindicación 10, **caracterizado** porque la señal de nivel cero de corriente (ZC) de la corriente circulante en el motor (1') se mide en la salida de un dispositivo de conmutación electrónico (52).

12. Un sistema según la reivindicación 11, **caracterizado** por funcionar de una manera estable, independientemente de la diferencia entre la fase dinámica ( $\varphi_P$ ) y la fase de accionamiento ( $\varphi_C$ ).

13. Un método de controlar un compresor lineal (10), comprendiendo el compresor lineal (10):

- un conjunto móvil (1);

## ES 2 282 840 T3

- un motor (1') alimentado por una tensión de aplicación alterna ( $V_T$ ), que genera una corriente circulante;
- medir una fase de accionamiento ( $\varphi_C$ ) de la corriente circulante en el motor (1');
- 5 - medir una fase dinámica ( $\varphi_P$ ) del conjunto móvil (1);
- establecer una relación entre la fase de accionamiento ( $\varphi_C$ ) y la fase dinámica ( $\varphi_P$ ), determinando una fase medida ( $\varphi_{PC}$ );
- 10 **caracterizándose** el método por comprender las etapas:
  - establecer una relación entre la fase medida ( $\varphi_{PC}$ ) y una posición física DP del conjunto móvil (1), determinando una posición preferible ( $DEP_{MAX}$ ) del conjunto móvil (1);
  - 15 - establecer una relación entre la fase medida ( $\varphi_{PC}$ ) y la posición preferible ( $DP_{MAX}$ ), obteniendo una tensión de aplicación ( $V_T$ ) para ser aplicada al motor (1').
- 14. Un método según la reivindicación 13, **caracterizado** porque, antes de la etapa para establecer la relación entre la fase medida ( $\varphi_{PC}$ ) y la posición preferible ( $DP_{MAX}$ ), el método comprende la etapa de comparar entre el valor de la posición preferible ( $DP_{MAX}$ ) y una posición física definida previamente establecida ( $DP_{REF}$ ) para obtener un valor de una tensión definida ( $V_P$ ).
- 15. Un método según la reivindicación 14, **caracterizado** porque en la etapa para alterar el valor de la tensión de aplicación ( $V_T$ ), el valor de la tensión de aplicación ( $V_T$ ) se obtiene sumando los valores de la tensión definida ( $V_P$ ) y de la tensión de corrección ( $V_F$ ).
- 16. Un método según la reivindicación 15, **caracterizado** porque, antes de la etapa para medir la fase de accionamiento ( $\varphi_C$ ) de la corriente circulante en el motor (1'), está prevista una etapa para obtener un nivel cero de corriente (ZC) de una corriente circulante en el motor (1').
- 17. Un método según la reivindicación 16, **caracterizado** porque, antes de la etapa para medir la fase dinámica ( $\varphi_P$ ) del conjunto móvil (1), está prevista la etapa para obtener un nivel cero de tensión (ZT) de la tensión de aplicación ( $V_T$ ) aplicada al motor (1').
- 18. Un compresor lineal (10) que comprende:
  - un conjunto móvil (1) situado dentro de una cámara de presurización (2) y que está asociado operativamente con un resorte (7), moviéndose el conjunto móvil (1) axialmente dentro de la cámara de presurización (2);
  - un motor (1') alimentado por una tensión de aplicación (VT), que genera una corriente circulante en el motor (1');
  - un dispositivo de conmutación electrónico (52); y
  - un circuito electrónico (51) que controla el dispositivo de conmutación electrónico (52), para controlar la tensión de aplicación (VT) aplicada al motor (1'), y el motor (1') que acciona el conjunto móvil (1);
- en el que
  - el circuito de control (51) mide una fase de accionamiento ( $\varphi_C$ ) de la corriente circulante en el motor (1') y una fase dinámica ( $\varphi_P$ ) del conjunto móvil (1) y establece una relación entre la fase de accionamiento ( $\varphi_C$ ) y la fase dinámica ( $\varphi_P$ ), determinando una fase medida ( $\varphi_{PC}$ ), **caracterizándose** el compresor lineal (10) porque:
    - el circuito de control (51) altera el valor de la tensión de aplicación ( $V_T$ ) aplicada al motor (1') de manera proporcional al valor de la fase medida ( $\varphi_{PC}$ ).
- 19. Un compresor según la reivindicación 18, **caracterizado** porque la fase medida ( $\varphi_{PC}$ ) se corresponde con la retardación entre la fase de accionamiento ( $\varphi_T$ ) y la fase dinámica ( $\varphi_P$ ) del conjunto móvil (1).
- 20. Un compresor según la reivindicación 19, **caracterizado** por funcionar de una manera estable, independientemente de la diferencia entre la fase dinámica ( $\varphi_P$ ) y la fase de accionamiento ( $\varphi_C$ ).
- 21. Un sistema de refrigeración **caracterizado** por comprender un compresor según se define en las reivindicaciones 18 a 20.

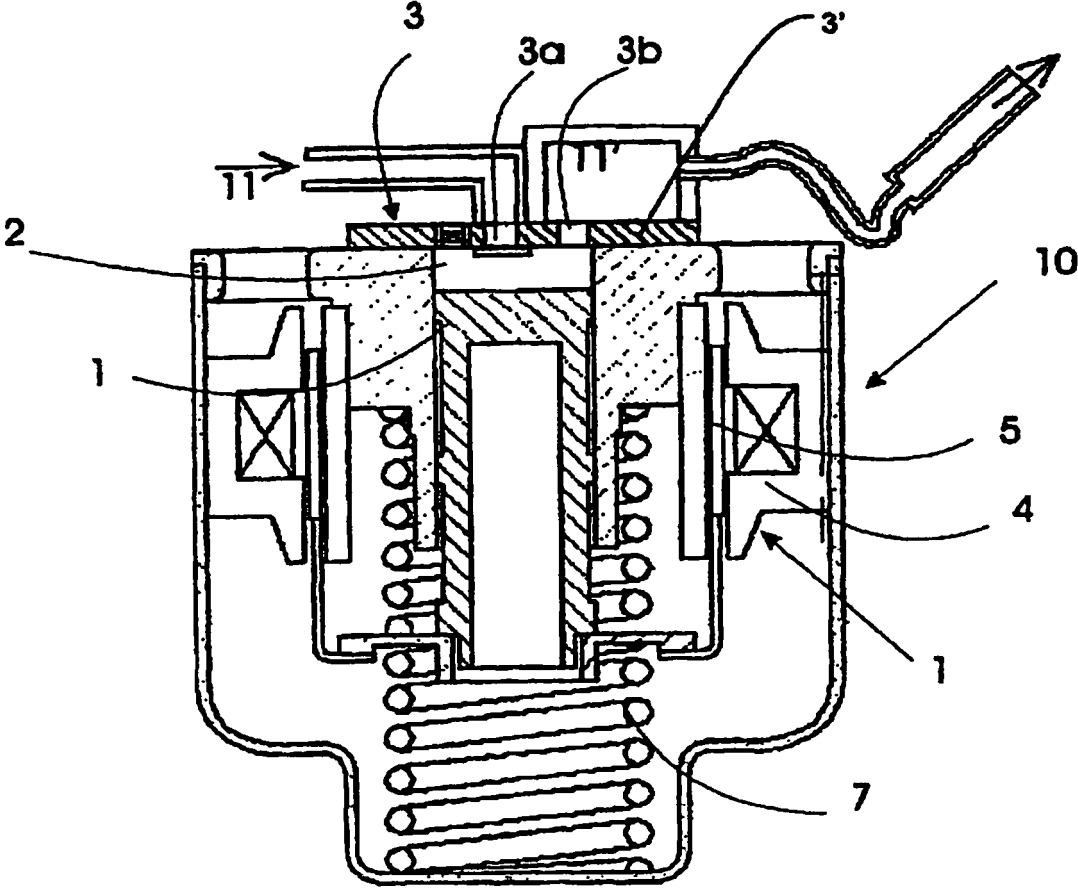


FIG.1

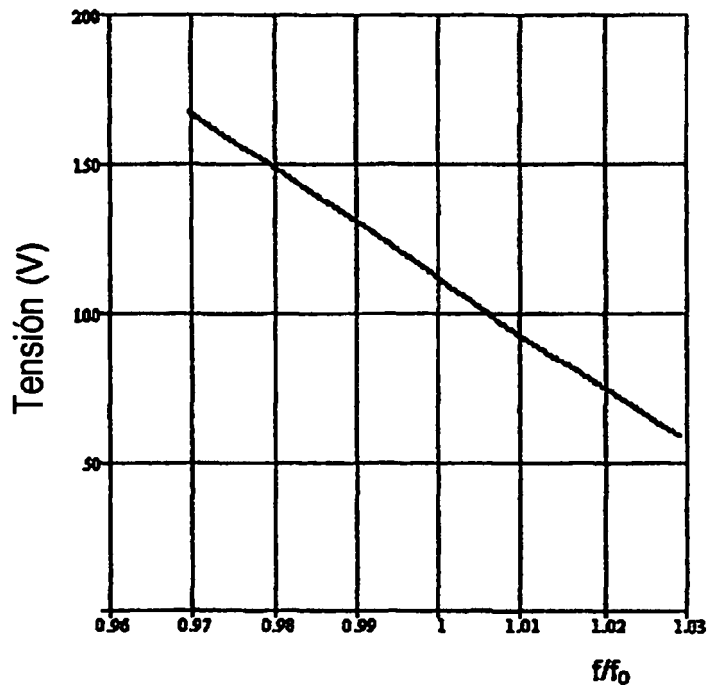


FIG. 2

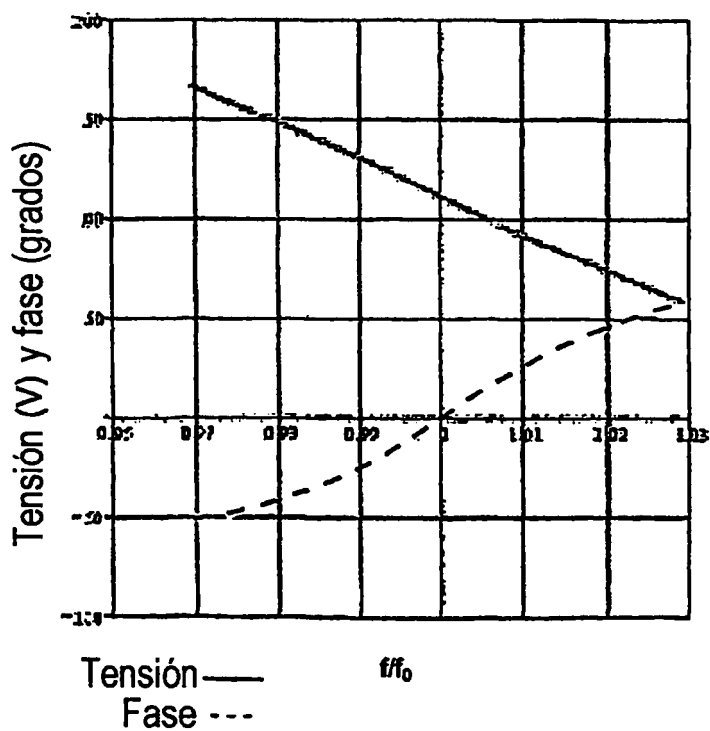


FIG. 3

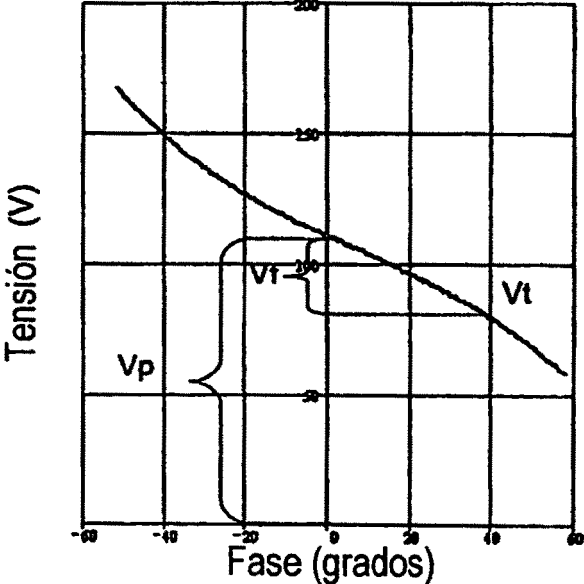


FIG. 4a

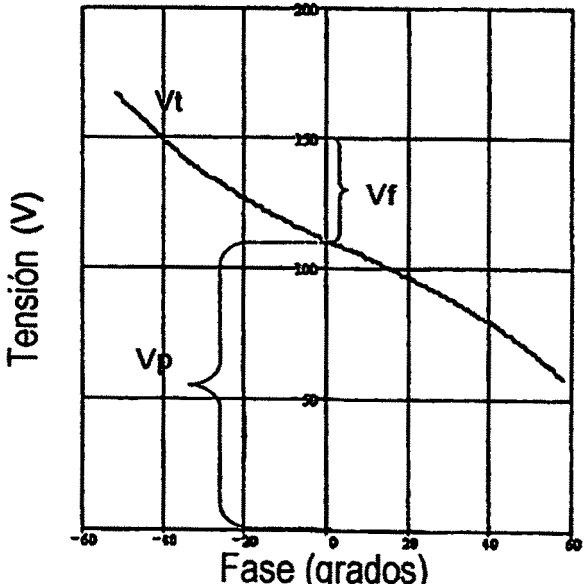
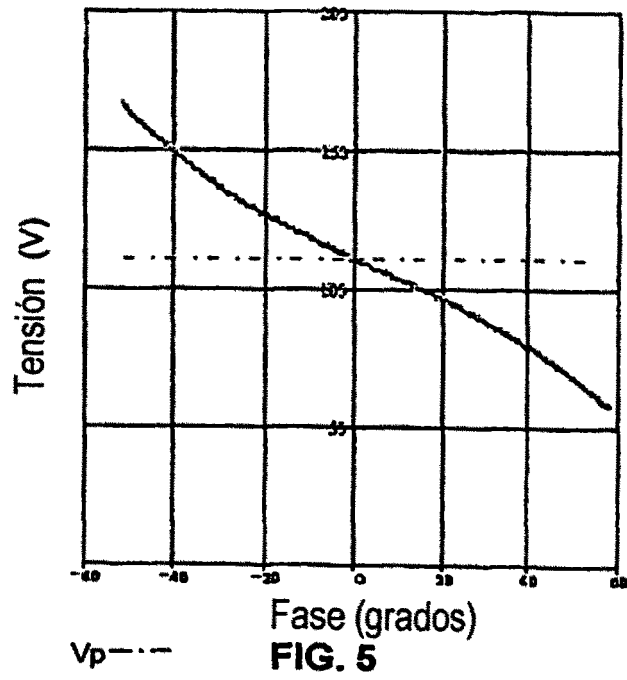
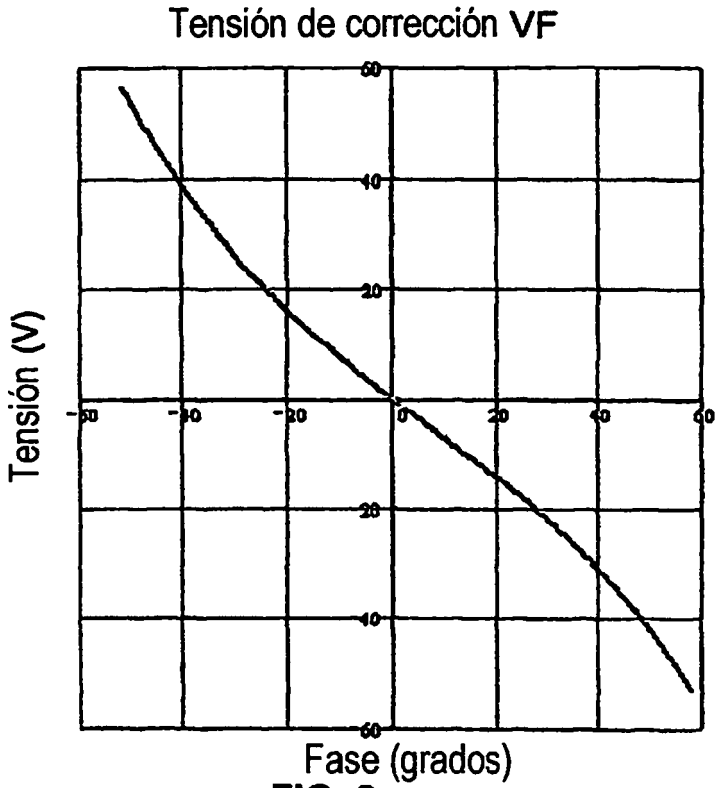
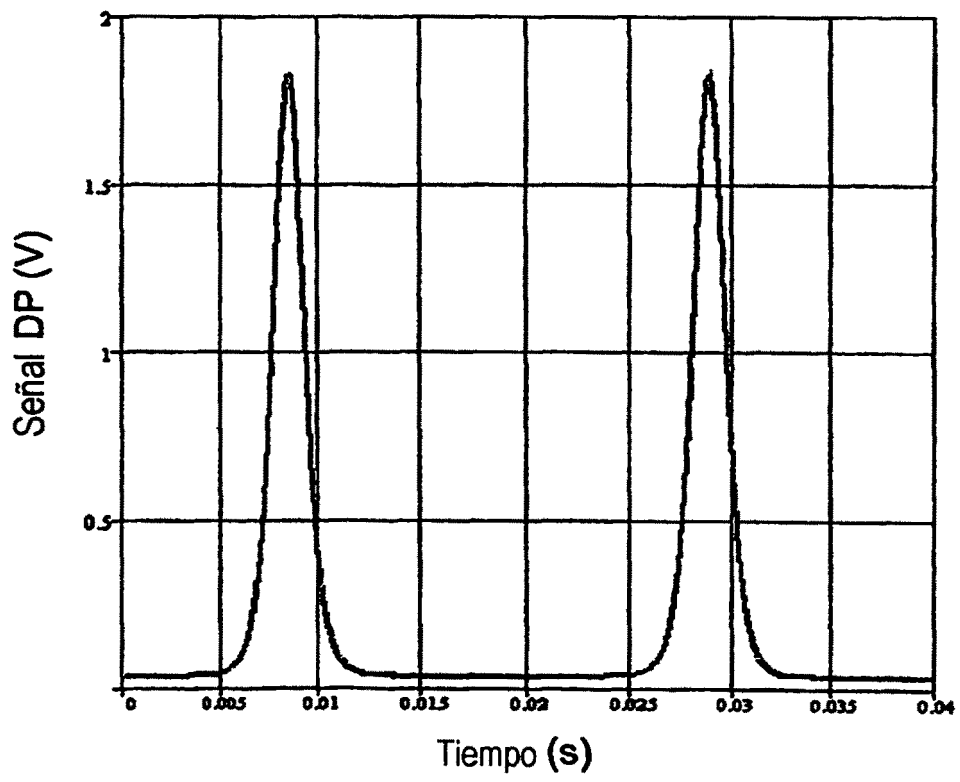


FIG. 4b







**FIG. 7**

