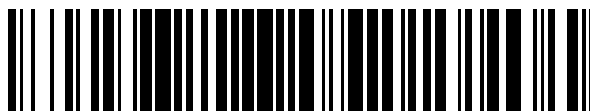


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 391 879**

51 Int. Cl.:

H02P 25/08 (2006.01)

H02P 6/16 (2006.01)

G01D 5/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **09779694 .0**

96 Fecha de presentación: **10.06.2009**

97 Número de publicación de la solicitud: **2313967**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **27.04.2011**

54 Título: **Estimación de posición de rotor basada en resonancia**

30 Prioridad:
18.07.2008 GB 0813226

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
30.11.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
30.11.2012

73 Titular/es:
INVERTO NV (100.0%)
Jacques Parijslaan 8
9940 Evergem, BE

72 Inventor/es:
GELDHOF, KRISTOF y
VAN DEN BOSSCHE, ALEX

74 Agente/Representante:
ARIAS SANZ, Juan

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).

ES 2 391 879 T3

DESCRIPCIÓN

Estimación de posición de rotor basada en resonancia

Campo técnico de la invención

- 5 La presente invención se refiere al campo de maquinaria tal como por ejemplo motores eléctricos. Más particularmente, la presente invención se refiere al campo de control y accionamiento de la maquinaria, tal como por ejemplo máquinas eléctricas de polos salientes. El método y los sistemas pueden aplicarse en un gran número de campos, por ejemplo en la generación de energía avanzada.

Antecedentes de la invención

- 10 Con el fin de controlar los estados de movimiento de una máquina eléctrica saliente de una manera estable, se requiere medir la posición de rotor. Esto puede conseguirse montando dispositivos mecánicos tales como codificadores o resolutores en el árbol de la máquina o colocando sensores Hall o bobinas exploradoras dentro de la máquina. Debido a importantes variaciones de temperatura dentro de la máquina, así como a vibraciones mecánicas, estos sensores pueden fallar, reduciendo por consiguiente la fiabilidad de la máquina controlada. Por este motivo, además de reducir el coste y el cableado adicional, los estados de movimiento se estiman en vez de medirse.

- 15 Existe un gran número de sistemas de estimación de posición de rotor. Un primer conjunto a modo de ejemplo de los métodos de estimación de posición usa un circuito LC, que consiste en una inductancia dependiente de la posición L de una fase de motor inactiva y un condensador externo C bien conocido. Luego, se aplica una tensión de alta frecuencia a la fase de motor mediante un acoplamiento capacitivo o inductivo. La frecuencia impuesta coincide con la frecuencia resonante del circuito LC para una determinada posición de rotor. Cuando un rotor en movimiento alcanza esta posición, el valor complejo de la impedancia de circuito se caracteriza por una amplitud máxima y fase nula. Por tanto, siguiendo la amplitud o la fase de la impedancia de circuito, puede detectarse cuándo el rotor alcanza una posición predeterminada. Un sistema o método de estimación de posición de este tipo requiere un circuito de excitación externo.

- 25 Otra categoría a modo de ejemplo de los métodos de estimación de posición se basa en la excitación de una fase de motor inactiva con pulsos de tensión y la medición de la pendiente de corriente resultante. Esta pendiente es proporcional a la inductancia incremental de la fase y, por tanto, contiene la información de posición de rotor. Estos métodos generan un par motor de perturbación debido a la amplitud no despreciable de la corriente generada por los pulsos de tensión.

- 30 El documento JP2000-083393 describe un sistema para detectar la posición de un rotor detectando la posición del rotor de un valor de frecuencia de una frecuencia de resonancia generada por un circuito oscilante.

El documento DE10322447 describe un dispositivo de medición de posición para mover de manera lineal o rotacional los componentes basándose en una disposición de doble bobina y un circuito de oscilación eléctrico.

Sumario de la invención

- 35 Un objeto de las realizaciones de la presente invención es proporcionar un buen aparato o métodos para controlar máquinas eléctricas de polos salientes. Una ventaja de las realizaciones según la presente invención es que puede obtenerse una estimación fiable de la posición de un rotor en una máquina de polos salientes y/o un control fiable de las máquinas de polos salientes. Una ventaja es que el sistema de control según las realizaciones de la presente invención es fiable, incluso en severas condiciones medioambientales, tales como por ejemplo en presencia de polvo, humedad, vibraciones fuertes o alta temperatura. De este modo, una ventaja es que usando el método sin sensor, el malfuncionamiento de un sensor de posición de árbol mecánico no puede dar lugar a una determinación de posición de rotor inexacta o un control inexacto de la máquina de polos salientes.

- 40 Una ventaja de las realizaciones según la presente invención es que se proporciona un sistema y/o método de control sin sensor para determinar una posición de rotor en una máquina de polos salientes, es decir sin la necesidad de un sensor de posición de árbol externo. Debe observarse que en la presente invención, sin sensor significa sin la necesidad de un sensor mecánico.

- 50 Los métodos y sistemas de control según las realizaciones de la presente invención pueden aplicarse en una variedad de campos, tales como por ejemplo en aplicaciones del consumidor como en compresores, ventiladores, acondicionamiento de aire, frigoríficos, lavadoras, equipo para automóviles, etc. pero también en aplicaciones industriales más avanzadas tales como equipo de manipulación, bobinadoras, elevadores, etc. y en vehículos eléctricos y/o híbridos, etc. y en aplicaciones de alta fiabilidad tales como aplicaciones aeroespaciales.

Una ventaja de las realizaciones según la presente invención es que se obtiene la información de la posición de rotor, no sólo para posiciones alineadas del rotor y el estator, sino también para posiciones intermedias. De este modo, una ventaja es que los sistemas y métodos pueden usarse para aplicaciones de alta dinámica.

Una ventaja de las realizaciones según la presente invención es que puede obtenerse la información de posición de rotor sin el uso de un hardware de excitación externo. Debe observarse que el sistema puede usar un hardware de excitación externo, tal como por ejemplo un circuito analógico sencillo para generar órdenes periódicas para el inversor para generar pulsos de prueba. También una ventaja de las realizaciones según la presente invención es que puede usarse un circuito de medición relativamente fácil, por ejemplo en comparación con un circuito para la medición de una magnitud de impedancia máxima o de una fase de impedancia nula. Una ventaja de las realizaciones según la presente invención es que no se requiere ningún procesamiento de señal complejo.

Una ventaja de las realizaciones según la presente invención es que pueden evitarse problemas de compatibilidad electromagnética, por ejemplo problemas de compatibilidad electromagnética que se producen en la inyección de una señal de alta frecuencia sostenida.

Una ventaja de las realizaciones es que puede obtenerse una alta resolución de posición. Una ventaja de las realizaciones según la presente invención es que puede evaluarse una señal de medición grande, siendo pequeño de este modo el sistema y/o método sujeto a ruido o perturbación.

Una ventaja de algunas realizaciones según la presente invención es que la cantidad de perturbación de par motor es despreciable.

Una ventaja de las realizaciones según la presente invención es que el número de componentes requeridos para controlar las máquinas eléctricas de polos salientes es bajo. Este último da como resultado además una reducción de costes.

El objetivo anterior se cumple mediante las características de sistema en la reivindicación 1 y el método correspondiente en la reivindicación 10. Las reivindicaciones dependientes mencionan las realizaciones ventajosas y los detalles de la invención.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 muestra un ejemplo de un motor de reluctancia conmutado de tres fases mediante el cual el rotor está alineado con un par de polos de estator, que puede controlarse usando un método o sistema según una realización de la presente invención.

La figura 2 muestra un ejemplo de un motor de reluctancia conmutado de tres fases mediante el cual el rotor no está alineado con un par de polos de estator, que puede controlarse usando un método o sistema según una realización de la presente invención.

La figura 3 muestra una ilustración de una forma de onda de corriente de fase (deseada) que tiene un periodo de corriente residual para accionar un motor de reluctancia conmutado de tres fases (A) y un motor CC sin escobillas de tres fases (B), que es una categoría de sistemas que pueden controlarse usando un sistema y/o método según una realización de la presente invención.

La figura 4 muestra una configuración a modo de ejemplo para un sistema para estimar la posición de rotor según una realización de la presente invención.

La figura 5 muestra un ejemplo de un puente de un convertidor de puente asimétrico que puede usarse en un sistema y/o método para controlar un motor de reluctancia conmutado según una realización de la presente invención.

La figura 6A y la figura 6B muestran un ejemplo de una señal de salida de controlador (figura 6A), una respuesta de tensión de fase diferencial al pulso de prueba de tensión en una fase inactiva para una posición de rotor alineada (línea discontinua) y para una posición de rotor no alineada (línea continua) (figura 6B), que puede usarse en un método y/o sistema según una realización de la presente invención. En este ejemplo, la duración del pulso de prueba de tensión es tal que no se almacena ninguna cantidad significativa de energía magnética en la inductancia de devanado de fase.

La figura 6C y la figura 6D muestran un ejemplo de la respuesta de tensión de fase diferencial (figura 6C) y la respuesta de corriente de fase (figura 6D) a un pulso de prueba de tensión en una fase inactiva para una posición de rotor no alineada (línea discontinua) y para una posición de rotor alineada (línea continua), que puede usarse en un método y/o sistema según una realización de la presente invención. La duración del pulso de prueba de tensión es tal que, a la finalización del pulso de prueba de tensión, se almacena una cantidad sustancial de energía magnética en la inductancia de devanado de fase, dando como resultado un periodo durante el cual se encienden los diodos de rueda libre.

La figura 7A muestra un ejemplo de un modelo parásito para el inversor y la fase de motor, proporcionando un conocimiento de cómo se comportará una respuesta a un pulso de prueba de tensión.

La figura 7B muestra un ejemplo de un acoplamiento capacitivo externo entre diferentes fases del inversor.

La figura 8 ilustra una signatura de posición comprendida por muestras de tensión diferenciales en función de la posición de rotor que puede usarse en un método y/o sistema según una realización de la presente invención.

La figura 9 describe un diagrama de flujo para un método a modo de ejemplo para controlar una máquina de polos salientes y la calibración para la estimación de posición de rotor, según una realización de la presente invención.

- 5 La figura 10 describe un sistema informático tal como puede usarse para realizar un método para controlar una máquina de polos salientes según una realización de la presente invención.

La figura 11A y la figura 11B ilustran las respuestas de tensión de fase diferenciales (figura 11B) para una longitud variante de los pulsos de prueba de tensión (figura 11A).

- 10 La figura 12 ilustra la respuesta de resonancia amortiguada en una fase inactiva en función de la corriente en una fase activa alineada, en la que ambas fases comparten una trayectoria magnética común.

En las diferentes figuras, los mismos símbolos de referencia se refieren a los mismos elementos o a elementos análogos.

Descripción de las realizaciones ilustrativas

- 15 La presente invención se describirá con respecto a realizaciones particulares y con referencia a determinados dibujos pero la invención no se limita a las mismas sino sólo por las reivindicaciones. Los dibujos descritos son sólo esquemáticos y no son limitativos. En los dibujos, el tamaño de algunos de los elementos puede ser exagerado y no estar dibujado a escala para propósitos ilustrativos. Las dimensiones y las dimensiones relativas no corresponden a reducciones reales para poner en práctica la invención.

- 20 Además, los términos primero, segundo, tercero y similares en la descripción y en las reivindicaciones, se usan para distinguir entre elementos similares y no necesariamente para describir una secuencia, o bien de manera temporal, espacial, en la clasificación o de cualquier otra manera. Debe entenderse que los términos así usados son intercambiables en circunstancias apropiadas y que las realizaciones de la invención descritas en el presente documento pueden usarse para un funcionamiento en otras secuencias distintas de las descritas o ilustradas en el presente documento.

- 25 Debe observarse que la expresión “que comprende”, usada en las reivindicaciones, no debe interpretarse como que se restringe para los medios enumerados después; no excluye otros elementos o etapas. Por tanto, debe interpretarse como que especifica la presencia de las características, números enteros, etapas o componentes mencionados tal como se refiere a, pero no descarta la presencia o adición de una o más de otras características, números enteros, etapas o componentes, o grupos del mismo. Por tanto, el alcance de la expresión “un dispositivo que comprende los medios A y B” no debe limitarse a dispositivos que consisten sólo en los componentes A y B. Significa que con respecto a la presente invención, los únicos componentes relevantes del dispositivo son A y B.

- 30 La referencia en toda esta memoria descriptiva a “una realización” o “realización” significa que un rasgo, estructura o característica particular descrita en conexión con la realización está incluida en al menos una realización de la presente invención. Por tanto, las apariciones de la frase “en una realización” en diversos lugares en toda esta memoria descriptiva no se refieren todas necesariamente a la misma realización, pero pueden referirse a la misma. Además, los rasgos, estructuras o características particulares pueden combinarse de cualquier manera adecuada, tal como sería evidente para un experto habitual en la técnica a partir de esta descripción, en una o más realizaciones.

- 35 De manera similar, debe apreciarse que en la descripción de las realizaciones a modo de ejemplo de la invención, a veces se agrupan diversas características de la invención en una sola realización, figura, o descripción de la misma con el propósito de simplificar la descripción y ayudar en el entendimiento de uno o más de los diversos aspectos inventivos. Este método de la descripción, sin embargo, no debe interpretarse como que refleja una intención de que la invención reivindicada requiere más características de las que se mencionan expresamente en cada reivindicación. En cambio, tal como reflejan las siguientes reivindicaciones, los aspectos inventivos permanecen menos que todas las características de una sola realización anterior dada a conocer. Por tanto, las reivindicaciones, que siguen a la descripción detallada, se incorporan expresamente mediante el presente documento en esta descripción detallada, manteniéndose cada reivindicación por sí misma como realización separada de esta invención.

- 40 Además, mientras que algunas de las realizaciones descritas en el presente documento incluyen algunas pero no otras características incluidas en otras realizaciones, se considera que las combinaciones de características de diferentes realizaciones están dentro del alcance de la invención, y forman diferentes realizaciones, tal como se entendería por los expertos en la técnica. Por ejemplo, en las siguientes reivindicaciones, puede usarse cualquiera de las realizaciones reivindicadas en cualquier combinación.

- 45 Además, algunas de las realizaciones se describen en el presente documento como método o combinación de elementos de un método que puede implementarse por un procesador de un sistema informático o mediante otros

medios de llevar a cabo la función. Por tanto, un procesador con las instrucciones necesarias para llevar a cabo un método o elemento de este tipo de un método forma un medio para llevar a cabo el método o elemento de un método. Además, un elemento descrito en el presente documento de una realización de un aparato es un ejemplo de un medio para llevar a cabo la función realizada por el elemento con el propósito de llevar a cabo la invención.

- 5 En la descripción proporcionada en el presente documento, se exponen numerosos detalles específicos. Sin embargo, se entiende que las realizaciones de la invención puedan ponerse en práctica sin estos detalles específicos. En otras circunstancias, no se han mostrado en detalle los métodos, estructuras y técnicas muy conocidos con el fin de no oscurecer la comprensión de esta descripción.

- 10 En el presente documento se hace referencia a una máquina de polos salientes, este término se refiere a máquinas en las que la inductancia propia de una fase y/o inductancia mutua entre fases depende de la posición de rotor. Este último puede incluir máquinas con variación de reluctancia pero también máquinas sin variación de reluctancia, mediante las cuales la saliencia se induce, por ejemplo, mediante una saturación local en cualquier parte del estator o rotor, dientes, cuñas, bridas, puentes magnéticos, ranuras cerradas. Una máquina de polos no salientes puede convertirse en una máquina de polos salientes mediante cambios de construcción, por ejemplo llenando un estator abierto o ranura de rotor de un puente de material magnético saturable de modo que se obtenga una ranura cerrada.
- 15 El material magnético (hierro, laminaciones, polvo de hierro, ferrita blanda) puede colocarse además entre algunos o todos los imanes de una máquina de imanes permanentes de polos no salientes con el fin de crear una máquina de polos salientes. El término máquina de polos salientes abarca las máquinas con o sin excitación de imán permanente. En una máquina de polos salientes, un estator o rotor de la máquina puede comprender un estator abierto o cerrado o ranuras de rotor y el devanado de bobinas de campo puede colocarse dentro de estas ranuras.
- 20 En las máquinas de polos salientes, puede existir una variación de reluctancia a lo largo de un espacio de aire como resultado de la construcción o debido a propiedades magnéticas de los materiales usados dentro de la máquina.

- Según un primer aspecto, la presente invención se refiere a un sistema de prueba para una máquina de polos salientes. Una máquina de polos salientes de este tipo puede ser cualquier tipo de máquina de polos salientes, tal como por ejemplo un generador, un motor o cualquier dispositivo similar que permita una conversión entre la energía eléctrica y mecánica. A modo de ejemplo, en la presente invención sin limitarse a las mismas, se ilustrarán las realizaciones de la presente invención para una máquina de reluctancia conmutada de 3 fases con seis polos de estator y cuatro polos de rotor. Por ejemplo, debe observarse que las realizaciones de la presente invención también pueden aplicarse para las máquinas de polos salientes que tienen un número diferente de polos de estator y/o un número diferente de polos de rotor. Por ejemplo, las realizaciones de la presente invención pueden aplicarse a máquinas de polos salientes que tienen el mismo número de polos de estator y polos de rotor, un número de polos de estator mayor que el número de polos de rotor o un número de polos de estator menor que el número de polos de rotor, estando distribuidos los polos de estator y/o rotor de manera uniforme o de manera no uniforme, con un espacio de aire constante o progresivo debajo de los polos de estator o rotor, etc. La máquina de polos salientes
- 25 tiene al menos un rotor y al menos un estator por lo que la posición relativa del rotor con respecto al estator varía durante el funcionamiento de la máquina de polos salientes. En la figura 1, se muestra un ejemplo de una máquina de polos salientes 150 que es un motor de reluctancia conmutado de tres fases con seis polos de estator 154 y cuatro polos de rotor 152, por lo que un par de polos de rotor 152 están alineados con un par de polos de estator 154. Se muestra el devanado A de fase 156 de las tres fases. En la figura 2, se ilustra un ejemplo de no alineación del rotor 152 con el estator 154.
- 30
- 35
- 40

- La presente invención es por ejemplo adecuada para su uso en motores eléctricos. Las máquinas de polos salientes según algunas realizaciones de la presente invención pueden accionarse de una manera que, en cada momento, al menos una de las fases está inactiva. Una ventaja de algunas realizaciones de tales máquinas es que puede obtenerse una determinación de posición de rotor exacta usando sólo una medición de tensión. A modo de ilustración, la presente invención no se limita a la misma, en la figura 3a se muestra un ejemplo de una señal de accionamiento eléctrico adecuada, por ejemplo una forma de onda de corriente de fase con respecto a la posición de rotor para una máquina de reluctancia conmutada 150 que puede controlarse usando el sistema de prueba según las realizaciones de la presente invención. En la figura 3b se muestra un ejemplo de una forma de onda de corriente de fase adecuada con respecto a la posición de rotor para una máquina CC sin escobillas de polos salientes que puede controlarse usando el sistema de prueba según las realizaciones de la presente invención. Alternativamente, también pueden aplicarse los métodos y sistemas según algunas realizaciones de la presente invención para las máquinas accionadas de una manera que no se produce ninguna fase inactiva. Tales realizaciones pueden aprovechar las mediciones adicionales, por ejemplo de la corriente.
- 45
- 50

- El sistema de prueba según las realizaciones de la presente invención está adaptado para generar una orden de pulso de prueba para aplicar un pulso de prueba de tensión en una fase de prueba de la máquina de polos salientes 150, por ejemplo una máquina CC sin escobillas de polos salientes. En algunas realizaciones, la fase de prueba puede ser una fase inactiva. La longitud del pulso de prueba de tensión puede ser, de este modo, tal que cae completamente dentro del periodo de la fase que está inactiva. El sistema de prueba puede comprender, por ejemplo, un generador de orden de pulso de prueba de hardware o software para generar una orden de pulso de prueba. Puede proporcionarse una orden de pulso de prueba de este tipo a un inversor. La orden de pulso de prueba puede proporcionarse a los dispositivos electrónicos de potencia asociados a la fase inactiva de la máquina de polos salientes. Alternativamente o además de esto, puede proporcionarse la orden de pulso de prueba a los
- 55
- 60

dispositivos electrónicos de potencia asociados a otra fase de la máquina de polos salientes. La orden de pulso de prueba puede adaptarse para aplicar un pulso de prueba de tensión durante un periodo en el que la fase de prueba está inactiva. Alternativamente, la fase de prueba es una fase activa y el final del pulso de prueba de tensión coincide con la transición de la fase del estado activo al estado inactivo. El sistema de prueba puede comprender el inversor, aunque la invención no se limita al mismo. El sistema de prueba comprende además un sistema de medición para determinar una respuesta de resonancia amortiguada al pulso de prueba de tensión en una fase medida y un procesador para derivar del mismo una posición de un rotor 152 de la máquina de polos salientes 150. La derivación del mismo de una posición de un rotor puede comprender determinar un valor de signatura de respuesta de resonancia amortiguada, también denominado valor de signatura de posición, y derivar del valor de signatura de respuesta de resonancia amortiguada una posición de un rotor de la máquina de polos salientes. Esta última proporciona la ventaja de proporcionar de manera exacta una posición del rotor 152 con respecto a al menos un estator 154. De este modo, una ventaja es que puede determinarse la posición del rotor 152, no sólo para alineaciones particulares, sino también para posiciones intermedias.

A modo de ilustración, en la presente invención que no se limita a las mismas, se muestra un sistema de prueba a modo de ejemplo en la figura 4, ilustrando componentes convencionales y opcionales del sistema 200.

El sistema de prueba 200 está adaptado para generar una orden de pulso de prueba. En el presente ejemplo, el sistema, por tanto, puede comprender un generador de orden de pulso de prueba 210 para generar una orden de pulso de prueba. El generador de orden de pulso de prueba 210 puede adaptarse para proporcionar en momentos apropiados, una orden de pulso de prueba para aplicar un pulso de prueba de tensión. La aplicación de un pulso de prueba de tensión puede activar entonces una respuesta de resonancia. El generador de orden de pulso de prueba 210 puede conectarse de manera eléctrica a un generador de pulsos de prueba de tensión tal como por ejemplo el inversor de la máquina de polos salientes para aplicar el pulso de prueba de tensión ordenado a la máquina de polos salientes. En otras palabras, el inversor puede usarse para generar el pulso de prueba de tensión en respuesta a la orden de pulso de prueba. El inversor puede ser parte del sistema de prueba 200 o puede estar acoplado al mismo de manera eléctrica. En algunas realizaciones, por ejemplo cuando se usa una fase activa para aplicar el pulso de prueba de tensión, el generador de orden de pulso de prueba puede estar en la forma de la unidad de generación de pulso convencional presente, tal como una unidad de generación de modulación de ancho de pulso.

En realizaciones ventajosas, la longitud del pulso de prueba de tensión es preferiblemente tal que se genera una diferencia suficientemente grande entre los potenciales de la fase de prueba. La fase inactiva puede constituir de este modo tanto la fase de prueba como la fase medida. En una realización ventajosa, la longitud del pulso de prueba de tensión es tal que la diferencia de los potenciales de fase alcanza aproximadamente el nivel de tensión del bus CC del inversor u otro potencial fijo, con el fin de maximizar el intervalo de las tensiones durante una resonancia amortiguada. Esta última también se ilustra a modo de ejemplo en la figura 11A y la figura 11B que indica un conjunto de pulsos de prueba de tensión en una fase inactiva y las respuestas de resonancia amortiguadas. El generador de orden de pulso de prueba 210 puede adaptarse para generar órdenes de pulsos de prueba para generar pulsos de prueba de tensión con una longitud de unos cuantos microsegundos. La longitud del pulso de prueba de tensión es lo suficientemente corta como para limitar la cantidad de incremento de corriente y, por tanto, para evitar el encendido de diodos de rueda libre al final del pulso de prueba de tensión. En un ejemplo, la longitud del pulso de prueba puede variar de entre $0,5 \mu\text{s}$ y $4 \mu\text{s}$, sin que la presente invención se limite a la misma. La amplitud del pulso de prueba de tensión, es decir la diferencia de potencial entre los terminales de fase de prueba, puede determinarse mediante la tensión de bus CC del inversor. El generador de orden de pulso de prueba puede adaptarse, por ejemplo sincronizarse, para proporcionar una orden de pulso de prueba de este tipo a un generador de pulsos de prueba de tensión como inversor para generar un pulso de prueba de tensión por cualquier combinación de acciones de conmutación de los dispositivos electrónicos de potencia asociados a la fase inactiva, de modo que los potenciales eléctricos de terminal de la fase de prueba, por ejemplo los potenciales eléctricos de terminal de devanado de fase inactiva, se fuerzan a niveles de potencial predeterminados, después de los cuales al menos uno de los potenciales de terminal se desacopla de nuevo del valor potencial al que se le forzó previamente. El pulso de prueba de tensión se genera de este modo en una fase inactiva de la máquina de polos salientes. Más particularmente, en un funcionamiento normal del motor, cada fase conduce corriente durante un periodo eléctrico dado, por ejemplo 120° de un periodo eléctrico de 360° . En el periodo restante no fluye corriente a través de la fase de motor y pueden aplicarse pulsos de prueba de tensión a la fase en este periodo. El efecto de un pulso de prueba de tensión de este tipo, cuando se aplica por un inversor a la fase apropiada de la máquina de polos salientes, es un efecto de resonancia. Al final del pulso de prueba de tensión, es decir cuando se desacopla al menos uno de los potenciales de terminal, se produce un intercambio de energía entre la inductancia de fase de motor y una capacitancia equivalente que se determina principalmente mediante las capacitancias parásitas de los componentes del inversor, por ejemplo los dispositivos semiconductores de potencia del inversor, tal como se ilustrará adicionalmente a continuación. Dado que la inductancia de fase de motor depende de la posición de rotor, la frecuencia de resonancia observada también varía con la posición de rotor.

Según otra realización particular de la presente invención, el sistema puede adaptarse para generar un pulso de prueba de tensión en la fase inactiva por medio de acciones de conmutación en otra fase de motor. Esto puede conseguirse aumentando el acoplamiento capacitivo entre las fases de motor por medio de condensadores externos, tal como se describirá en más detalle más adelante con respecto a la figura 7b. El valor de los condensadores de

acoplamiento, ilustrados en la figura 7b por los condensadores de acoplamiento 320a y 320b, puede ser varias veces mayor que las capacitancias parásitas de los dispositivos semiconductores de potencia. Los potenciales eléctricos de los terminales de devanado de fase inactiva, indicados en la figura 7b por los terminales de devanado 302a, pueden, por tanto, forzarse al potencial de bus CC superior e inferior cuando se enciende la otra fase, indicada en la figura 7b por 302b. La capacitancia (parásita) de la fase inactiva puede cargarse a la tensión de bus CC y puede iniciar la resonancia con la inductancia de devanado de fase inactiva. La capacitancia parásita asociada con la fase puede comprender todas las capacitancias, es decir no sólo el devanado de fase y la capacitancia semiconductor sino también la capacitancia de cable, capacitancia del diseño de la placa, capacitancia externa, etc.

Según una realización particular de la presente invención, el sistema puede estar adaptado de manera que los condensadores 362 y 364 en la figura 7a son la conexión paralela de los condensadores explícitos y los condensadores parásitos de los dispositivos semiconductores de potencia. Esto puede realizarse con el fin de disminuir el intervalo de frecuencias de resonancia. Los condensadores externos pueden escogerse además lo suficientemente grandes para que su capacitancia domine la capacitancia parásita de los dispositivos semiconductores de potencia.

En otra realización, una fase activa constituye tanto la fase de prueba como la fase medida. En este caso, una corriente sustancial está presente al final del pulso de prueba de tensión. Esto último tiene como efecto que además de energía almacenada en la capacitancia, también se almacena energía magnética adicional en la inductancia, influyendo sobre la respuesta de resonancia. No obstante, todavía se produce una respuesta de resonancia amortiguada al final del pulso de prueba de tensión. Esta respuesta de resonancia amortiguada puede interrumpirse mediante un nuevo pulso de prueba de tensión, forzando los potenciales de la fase medida, por ejemplo debido a la conducción de diodos de rueda libre. La estimación de posición puede basarse, por ejemplo, en la respuesta de resonancia amortiguada antes de que se aplique el nuevo pulso de prueba de tensión o en la respuesta de resonancia amortiguada después del final del nuevo pulso de prueba de tensión, cuando la corriente ha disminuido de nuevo a sustancialmente cero. Para obtener una estimación de posición exacta a menudo es ventajoso en estas realizaciones que se tenga en cuenta la corriente y, por tanto, puede ser ventajosa una medición de corriente. Estas realizaciones pueden ser especialmente adecuadas para máquinas de polos salientes que no tienen fases inactivas. Estas últimas se ilustrarán además en un ejemplo particular, sin limitarse de este modo los principios de realizaciones de la invención.

Todavía en otra realización, se varía la tasa en la que se aplican los pulsos de prueba de tensión con el fin de obtener una tasa de actualización de estimación de posición más alta o más baja. A velocidades más altas de la máquina, puede escogerse la tasa más alta para aplicar pulsos de prueba, con el fin de reducir la influencia de histéresis en el núcleo magnético de la máquina sobre la respuesta de resonancia amortiguada.

El generador de pulsos de prueba de tensión 220 puede ser parte del sistema de prueba 200 y, más particularmente, el generador de orden de pulso de prueba puede estar acoplado de manera eléctrica al mismo. El generador de pulsos de prueba de tensión 220 puede ser en las realizaciones de la presente invención ventajosamente el inversor de la máquina de polos salientes, aunque la invención no se limite a las mismas. El generador de pulsos de prueba de tensión 220 también puede ser, por ejemplo, un dispositivo electrónico de potencia que difiere del inversor que acciona la máquina principal: En un ejemplo, un sensor de posición puede implementarse como una máquina de polos salientes pequeña, que puede montarse en el árbol de una máquina principal que va a accionarse, mediante la cual el generador de pulsos de prueba de tensión difiere así del inversor que acciona la máquina principal. El generador de pulsos de prueba de tensión 220 puede ser cualquier convertidor electrónico de potencia, tal como por ejemplo cualquier convertidor electrónico de potencia adaptado para accionar la máquina de polos salientes, por ejemplo el motor de reluctancia conmutado o el motor CC sin escobillas de polos salientes. El generador de pulsos de prueba de tensión 220 puede comprender un conjunto de dispositivos semiconductores de potencia, por ejemplo dispositivos semiconductores de potencia de tres terminales, para aplicar una señal de accionamiento. Los dispositivos semiconductores de potencia pueden ser, por ejemplo, transistores. Los dispositivos semiconductores de potencia pueden adaptarse para una conmutación rápida. En un ejemplo particular, los dispositivos semiconductores de potencia pueden ser transistores bipolares de puerta aislada. Cuando una fase de la máquina de polos salientes 230 se acopla al inversor de la máquina de polos salientes, los pulsos de prueba de tensión pueden aplicarse a la máquina de polos salientes.

El sistema de prueba comprende además un circuito de medición 240 para determinar, en una fase medida, una respuesta de resonancia amortiguada al pulso de prueba de tensión en una fase de prueba. El circuito de medición puede o no contener filtros de paso alto o de paso bajo o una combinación de ambos. El circuito de medición puede proporcionar información respecto a la respuesta de resonancia amortiguada al pulso de prueba de tensión aplicado. El circuito de medición 240 puede comprender, alternativamente o además del mismo, un medio de procesamiento para determinar un valor de signatura de posición de una respuesta de resonancia amortiguada. El valor de signatura de posición puede ser cualquier parámetro adecuado que identifica una respuesta de resonancia amortiguada inducida por el pulso de prueba de tensión. El valor de signatura de posición es representativo para la respuesta de resonancia amortiguada al pulso de prueba de tensión. El valor de signatura de posición puede ser representativo para el grado de amortiguación así como para la frecuencia de la resonancia. El valor de signatura de posición puede obtenerse realizando un único muestreo de la respuesta de resonancia amortiguada, por ejemplo en un tiempo predeterminado después de que se ha aplicado el pulso de prueba de tensión, es decir en un momento

predeterminado después de que se ha enviado la orden de pulso de prueba o después del final del pulso de prueba de tensión. En un ejemplo particular, el circuito de medición es un medio para determinar un valor de signatura de posición usando la tensión inducida sobre la fase medida. La fase medida puede ser la fase de prueba u otra fase de motor o una bobina de detección, acoplada de manera inductiva con la fase de prueba.

La determinación del valor de signatura de posición puede comprender determinar una característica de resonancia, tal como por ejemplo un factor de amortiguación que caracteriza la amortiguación de la respuesta de resonancia. Esto última puede realizarse basándose en un ajuste de una oscilación amortiguada, basándose en una tabla de consulta o mediante cálculo. Alternativamente, puede evitarse la etapa de determinar explícitamente una característica de resonancia y el valor de signatura de posición puede basarse en los puntos de muestreo determinados representativos para la respuesta de resonancia amortiguada.

En una particular realización de la presente invención, pueden medirse al menos dos muestras de tensión inducidas para determinar el valor de signatura de posición de la respuesta de resonancia amortiguada inducida por el pulso de prueba de tensión. Esto último permite, por ejemplo, la eliminación de efectos de perturbación que se originan de un acoplamiento mutuo y una fuerza electromotriz hacia atrás. En presencia de esta fuerza electromotriz hacia atrás, se aplica un pulso de prueba de tensión a la fase inactiva en la que ya está presente una tensión inducida por tanto el acoplamiento mutuo con una fase activa como el principio bien conocido de fme inducida debido a la rotación (fuerza electromotriz hacia atrás). En ese caso, la respuesta de tensión está comprendida fuera de tanto la tensión inducida como la respuesta de resonancia amortiguada al pulso de prueba de tensión aplicado. En algunos casos, puede ser posible medir la tensión inducida antes de la aplicación del pulso de prueba de tensión (primera muestra), y sustraer este resultado de la respuesta medida al pulso de prueba de tensión (segunda muestra).

Según una realización particular de la presente invención, pueden sincronizarse la aplicación de pulsos de prueba de tensión, la detección de la respuesta de resonancia amortiguada y las acciones de conmutación para accionar la máquina de polos salientes. La sincronización de los pulsos de prueba de tensión puede escogerse de tal manera que los momentos en los que se realizan las mediciones de la respuesta de resonancia amortiguada no coinciden con acciones de conmutación de los dispositivos electrónicos de potencia en una fase activa de la máquina. Esto último impide medir las perturbaciones debidas al acoplamiento capacitivo entre las fases activas y la fase de medición.

Según realizaciones particulares de la presente invención, el sistema está adaptado además para realizar una medición de corriente. Esto último puede realizarse, por ejemplo, en realizaciones en las que se aplica el pulso de prueba de tensión en una fase activa. También puede realizarse en realizaciones en las que se produce una saturación en una trayectoria magnética común entre la fase medida y una fase activa. La figura 12 muestra la influencia del nivel de corriente en una fase activa alineada sobre la respuesta de resonancia amortiguada en la fase medida. En los niveles altos de corriente, puede saturarse la trayectoria magnética común entre ambas fases, conduciendo a una disminución en la inductancia de la fase medida. Puede ser ventajoso medir la corriente en la fase activa, con el fin de compensar el cambio en la permeabilidad en la trayectoria común entre la fase medida y la fase activa. Una medición de corriente de este tipo puede realizarse usando un sistema tal como se conoce de la técnica anterior.

El sistema de prueba puede comprender además un procesador 250 adaptado para derivar, del valor de signatura de posición determinado asociado con la respuesta de resonancia amortiguada al pulso de prueba de tensión, una posición de un rotor de la máquina de polos salientes. Esto último puede basarse, por ejemplo, en un algoritmo predeterminado, mediante el uso de una tabla de consulta, según reglas predeterminadas, mediante cálculo o usando una red neural. El procesamiento puede realizarse en un único procesador o puede realizarse en diferentes procesadores. En la figura 4, se muestra un procesador 250 separado. El procesador o la pluralidad de procesadores pueden ser cualquier medio de procesamiento adecuado tal como por ejemplo un microprocesador, un microordenador, una FPGA, un conjunto de unidades lógicas, etc. En una realización, el procesador 250 puede comprender una memoria 252 para almacenar una relación predeterminada entre un valor de signatura de posición y la posición del rotor, una tabla de consulta determinada durante un método de calibración que proporciona una relación entre un valor de signatura de posición y una posición del rotor, etc. Esto último puede comprender, por ejemplo, determinar una relación entre la tensión medida y la posición de rotor durante una fase de calibración repitiendo la medición de la tensión para diferentes posiciones de rotor conocidas y almacenando una relación de este tipo en el procesador 250. Esta relación puede usarse luego para recuperar la posición de rotor en cualquier momento para la configuración dada. Como ejemplo de un procedimiento de calibración de este tipo, puede encenderse una fase de la máquina de polos salientes (no cargada) de modo que el rotor tienda a alinearse con la fase. Si la fase se apaga inmediatamente antes de que se haya alcanzado la alineación final, el rotor seguirá rotando a una velocidad que disminuye sólo ligeramente en una revolución eléctrica debido al par motor de fricción. Durante la revolución eléctrica, la velocidad es más o menos constante y los valores de signatura de posición pueden medirse y almacenarse para su uso en condiciones de funcionamiento normales. Un procedimiento de calibración de este tipo tiene lugar ventajosamente en condiciones no de carga, en las que no hay corriente en el devanado de fases. La signatura de posición, que comprende todos los valores de signatura de posición asociados con un intervalo de posiciones de rotor, se registra ventajosamente para el caso de pulsos de prueba de tensión aplicados a las fases inactivas de la máquina de polos salientes. Cuando la signatura de posición depende de la inductancia de fase de motor y de la capacitancia parásita de fase de motor, los dispositivos semiconductores de potencia, el diseño

del convertidor y el cableado, la signature de posición debe registrarse de nuevo cada vez que se cambie el convertidor o el motor o el cableado. En algunas realizaciones según la presente invención, se supera la necesidad de registrar la signature de posición de nuevo en el caso de un cambio de convertidor o cableado si los condensadores externos se colocan en paralelo con los dispositivos semiconductores de potencia. Si el valor de condensador es suficientemente mayor que la capacitancia parásita total asociada con la fase, se determina el intervalo de las frecuencias de resonancia mediante el valor de condensador externo, en vez de la capacitancia parásita. Cuando se sustituye el motor, es necesario que la signature de posición se registre de nuevo de cualquier manera. Esto puede realizarse, por ejemplo, tal como se describió anteriormente. En algunos ejemplos, además de una tensión medida, también debe tenerse en cuenta una corriente medida, por ejemplo en las realizaciones en las que se aplica el pulso de prueba de tensión mientras que, al menos durante la parte de la aplicación del pulso, está presente una corriente sustancialmente no residual. Esto último se describirá en más detalle usando un ejemplo particular, sin que se limite la presente invención al mismo. Todavía en otros ejemplos, debe tenerse en cuenta una corriente medida, por ejemplo en el caso de una saturación de trayectorias magnéticas comunes entre la fase medida y una fase activa. En ese caso, puede asumirse ventajosamente un procedimiento de calibración adicional con el fin de calibrar el impacto de una trayectoria magnética común saturada. Este procedimiento de calibración puede registrar, por ejemplo, el impacto en el valor de signature de posición para diferentes niveles de saturación aplicando diferentes niveles de corriente en una fase activa para generar diferentes niveles de saturación mientras que se observa el impacto en la respuesta de resonancia amortiguada en la fase medida.

El sistema de prueba puede comprender además opcionalmente un controlador 260 para controlar el accionamiento de la máquina de polos salientes. De este modo, en respuesta a la posición de rotor obtenida, puede ajustarse el control de la máquina de polos salientes. El controlador 260 puede realizar la función de seleccionar la estrategia de control apropiada y/o realizar el control, basándose en la posición de rotor obtenida en la máquina de polos salientes. La selección de la estrategia de control puede depender así de la posición, velocidad o par motor de la máquina de polos salientes. El controlador 260 puede adaptarse por tanto para usar la información derivada con respecto a la posición de rotor para controlar la máquina de polos salientes. La entrada proporcionada al controlador puede ser la posición de rotor determinada en el procesador. Además, el controlador 260 puede tener como entrada el par motor o la velocidad deseados, que pueden ser información obtenida mediante una entrada de usuario. El control de una máquina de polos salientes puede realizarse de una manera automatizada y/o automática. Por ejemplo puede realizarse de acuerdo con algoritmos predeterminados o basándose en procesamiento de red neural. Por ejemplo, basándose en un estado de funcionamiento determinado de la máquina de polos salientes, por ejemplo derivado de una posición de rotor o ángulo de rotor, el controlador puede decidir realizar la conmutación entre fases de la máquina de polos salientes, aumentar la velocidad o el par motor de la máquina de polos salientes, disminuir la velocidad o el par motor de la máquina de polos salientes, conmutar a un procedimiento de seguridad, por ejemplo deteniendo el funcionamiento de la máquina de polos salientes, etc. En algunas realizaciones, el control de la máquina de polos salientes puede realizarse de una manera autoregulante, por lo que el aumento de la velocidad o del par motor de la máquina de polos salientes está acoplado con la cantidad de perturbación medida. El aumento de la velocidad o el par motor puede por ejemplo realizarse una vez alcanzado un determinado grado de estabilidad, por ejemplo a la vista de un nivel predeterminado de estabilidad que debe obtenerse. El control de la máquina de polos salientes puede realizarse a petición de un usuario, a intervalos regulares, de manera continua o de manera casi continua, en momentos temporales predeterminados, según un calendario programado, etc.

Una ventaja de realizaciones según la presente invención es que permite obtener una posición de rotor con una buena resolución. En una realización particular, el inversor de potencia de la máquina de polos salientes puede estar adaptado además para cambiar el intervalo de frecuencias resonantes de modo que pueda obtenerse una resolución adicionalmente potenciada para la estimación de la posición de rotor. Con el fin de obtener esto, pueden añadirse condensadores externos al inversor. Pueden usarse valores de condensador externo de hasta 100 veces el valor de capacitancia parásita de un dispositivo semiconductor de potencia para este fin.

En una realización particular, el sistema está adaptado además para proporcionar una estimación de la posición de rotor a una alta velocidad de rotación. A altas velocidades el cambio de posición de rotor entre mediciones de tensión consecutivas no será despreciable. Con el fin de proporcionar también información referente a la posición de rotor a altas velocidades, el sistema puede adaptarse con estrategias sin sensor de funcionamiento a alta velocidad convencionales, tales como por ejemplo estrategias sin sensor basadas en la medición de la forma de onda de corriente de fase activa.

En un segundo aspecto la presente invención también se refiere a un conjunto de la máquina de polos salientes y un sistema de prueba tal como se describieron en el primer aspecto. El sistema puede comprender así las mismas características y ventajas similares a las descritas en el primer aspecto de la presente invención.

A modo de ilustración, sin limitarse la presente invención al mismo, a continuación se describe un ejemplo de un conjunto de una máquina de polos salientes y un sistema de prueba según realizaciones del primer aspecto y del segundo aspecto.

En el presente ejemplo, una máquina de reluctancia conmutada de 3 fases con seis polos de estator y cuatro polos de rotor (6/4 SRM) que tiene una configuración de rotor y estator para la que se ilustran dos ejemplos (alineado y no alineado) en la figura 1 y la figura 2. El devanado de fase A 156 de la máquina está conectado a un puente de un

convertidor de puente H asimétrico, tal como puede observarse en la figura 5. El componente 302 representa la inductancia del devanado de fase A. En el presente ejemplo, cada puente del convertidor contiene un par de transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) 304a, 304b y un par de diodos de rueda libre 306a, 306b. Debe observarse que también pueden usarse diferentes tipos de convertidores, es decir inversores. Un generador de orden de pulsos de prueba, también denominado circuito controlador 210, calcula las señales que van a proporcionarse a los dispositivos semiconductores de potencia. Más particularmente en el presente ejemplo, el generador de orden de pulsos de prueba calcula las señales de puerta para los IGBT asociados con la fase A inactiva. El inversor también está adaptado para recibir medidas de la tensión de devanado de fase diferencial de la fase A. Con el fin de aplicar los pulsos de prueba de tensión en la fase inactiva, ambos IGBT se activan simultáneamente durante una cantidad muy corta de tiempo, normalmente unos pocos microsegundos.

La figura 6A y la figura 6B ilustran las formas de onda de resonancia amortiguadas para la tensión diferencial del devanado de fase A. La figura 6A muestra la señal de salida de controlador para ambos IGBT. Hay un pequeño retraso, provocado principalmente por el retraso de activación de los IGBT, antes de activar los IGBT. Cuando se activan los IGBT, aproximadamente 1 microsegundo tras emitirse la orden de encendido desde el controlador, se fuerzan los potenciales eléctricos de los terminales de devanado de fase al potencial superior e inferior del bus CC. De este modo, se carga la capacitancia parásita 312 del devanado de fase hasta la tensión de bus CC de convertor V_{CC} . La carga del devanado de fase tiene lugar en el intervalo de tiempo 350 en la figura 6B. A continuación, los IGBT se desactivan simultáneamente. A partir de ese momento, el comportamiento dinámico de los IGBT está determinado principalmente por la capacitancia de colector-emisor parásita 362a y 362b, tal como puede observarse a partir del modelo parásito para el inversor y el motor en la figura 7A. La figura 7A proporciona así información sobre cómo se comportará una respuesta a un pulso de prueba de tensión. La respuesta será una resonancia, debido al intercambio de energía entre el elemento inductor 302 y una capacitancia equivalente comprendida por los elementos capacitivos 362, 364 asociados con los dispositivos semiconductores (incluyendo condensadores externos, si están presentes, colocados en paralelo con estos dispositivos) y la capacitancia parásita 312 del devanado de fase, cables de potencia, disposición de tarjeta de circuito impreso y otras capacitancias parásitas presentes en el circuito. El resistor R 360 modeliza las pérdidas principales en la máquina. Debido a estas pérdidas, se amortigua la resonancia.

La figura 7B muestra un ejemplo de un acoplamiento capacitivo externo entre diferentes fases del inversor. Si el valor de los condensadores externos 320a y 320b es mucho mayor que las capacitancias parásitas en el circuito, se fuerzan los potenciales eléctricos de los terminales del devanado de fase inactiva 302a al potencial superior e inferior del bus CC cuando se activan los IGBT 304c y 304d. Por tanto, con esta configuración, las acciones de conmutación de una fase activa pueden activar una resonancia en la fase inactiva, es decir la fase medida.

La respuesta de tensión de fase diferencial se muestra para la posición de rotor no alineada (figura 6B, línea continua) y para la posición de rotor alineada (figura 6B, línea discontinua). Si la capacitancia parásita de los IGBT y los diodos de rueda libre tienen un valor constante y si no hay amortiguación presente, la tensión oscilará con una amplitud V_{CC} a una frecuencia de resonancia determinada por

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{eq}}}$$

En esta fórmula L representa la inductancia de fase de motor dependiente de la posición y C_{eq} representa la capacitancia equivalente del circuito resonante. Dado que la capacitancia parásita de los IGBT y los diodos de rueda libre depende tanto de la tensión como de la temperatura, la capacitancia equivalente no es constante durante la oscilación. Además la oscilación se amortigua. Esta amortiguación está provocada principalmente por pérdidas de histéresis y corriente de Foucault en el núcleo magnético de la máquina, cuyo efecto puede representarse mediante un resistor 360 en paralelo con la inductancia de devanado de fase 302. La amortiguación es la más importante cuando el rotor está en la posición alineada, es decir similar a lo mostrado en la figura 1, lo que corresponde a un ancho de espacio de aire mínimo.

A partir de la figura 6B puede observarse que la oscilación amortiguada de la tensión de fase muestra una fuerte dependencia de la posición. Además, la amplitud de la tensión es del mismo orden de magnitud que la magnitud de tensión del bus CC. Por tanto, puede recuperarse información de alta resolución de la posición de rotor a partir de la tensión de fase oscilante. En la figura 6B se toma una muestra de la tensión oscilante en un tiempo fijado t_s tras el final de cada pulso de prueba de tensión. Este tiempo se elige de modo que, en la posición de rotor no alineada, la tensión oscilante alcanza su valor mínimo cerca del instante de muestra. El valor de muestra se indica por la línea vertical en la figura 6B. Si se trazan valores de muestra consecutivos en función de la posición de rotor para una revolución mecánica de la máquina, se obtiene la figura 8. La figura 8 muestra por tanto una signatura de posición, que comprende un intervalo de valores de signatura de posición, por ejemplo muestras de tensión diferenciales, para un intervalo correspondiente de posiciones de rotor, para la combinación de máquina y convertidor.

La figura 6C y la figura 6D muestran dos ejemplos de realizaciones en los que los pulsos de prueba de tensión,

aplicados a una fase inactiva, pueden dar como resultado una acumulación sustancial de corriente en la fase. En la figura 6C y la figura 6D se muestran la tensión diferencial (figura 6C) y la corriente (figura 6D) de la fase de motor de reluctancia conmutado para la posición de rotor no alineada (línea continua) y alineada (línea discontinua) respectivamente. Durante el pulso de prueba de tensión se carga la capacitancia parásita del devanado de fase hasta la tensión de bus CC. Además, la corriente en el devanado de fase puede aumentar hasta un nivel sustancial durante la aplicación del pulso de prueba de tensión. Debido a la cantidad adicional de energía magnética

$$E_{\text{adicional}} = \frac{1}{2} Li^2$$

almacenada en la inductancia al final del pulso de prueba de tensión, la resonancia de tensión diferencial consecutiva puede disminuir por debajo de la tensión de bus CC negativa y los diodos de rueda libre pueden activarse como consecuencia. La flecha 353 indica el área en la respuesta de tensión en la que los diodos de rueda libre son conductores. La flecha 352 indica la aparición de la primera resonancia a partir de la cual puede estimarse la posición. Sin embargo, puede ser necesaria una medición adicional, por ejemplo una medición de corriente, ya que la pendiente de la forma de onda aumenta fuertemente con el aumento de energía inicial almacenada en el campo magnético. Puede no necesitarse una medición adicional si la corriente no alcanza un nivel sustancial durante la aplicación del pulso de prueba de tensión. Este es el caso cuando la energía almacenada en la capacitancia de devanado parásita

$$E_{\text{capacitancia}} = \frac{1}{2} CV^2$$

domina fuertemente la energía magnética almacenada en la inductancia de devanado

$$E_{\text{adicional}} = \frac{1}{2} Li^2$$

Se genera otro pulso de prueba de tensión a medida que se activan los diodos de rueda libre, indicado por la flecha 353. Con los diodos de rueda libre activados, se fuerzan los potenciales eléctricos de los terminales de devanado de fase a los potenciales de bus CC. A medida que la tensión aplicada sobre la fase se iguala con la tensión de bus CC negativa, la corriente disminuye rápidamente. Cuando la corriente alcanza cero, los diodos de rueda libre se desactivan y ambos potenciales de los terminales de devanado de fase se desacoplan del bus CC, induciendo de nuevo una resonancia. La flecha 354 se refiere a la aparición de una segunda resonancia amortiguada en la que puede basarse una estimación de posición. Sin embargo, también en este caso puede ser necesaria una medición adicional, por ejemplo el momento en el que se desactivan los diodos de rueda libre. Estas realizaciones pueden no preferirse para el motor de reluctancia conmutado o máquinas CC sin escobillas de polos salientes. Sin embargo, la medición de la primera resonancia puede usarse en otras máquinas de polos salientes que se caracterizan por el hecho de que se accionan sin periodos de corriente residual.

Un tercer aspecto de la presente invención se refiere a un método para determinar una posición de rotor de una máquina de polos salientes y opcionalmente para controlar la máquina de polos salientes en función de la posición de rotor obtenida. El método puede realizarse ventajosamente usando un sistema tal como se describió en el aspecto primero y/o segundo, aunque la invención no se limita a lo mismo. El método para determinar una posición de rotor comprende generar una orden de pulso de prueba para aplicar un pulso de prueba de tensión, determinar en una fase medida una respuesta de resonancia amortiguada al pulso de prueba de tensión y derivar a partir de la misma una posición del rotor. Derivar una posición del rotor a partir de una respuesta de resonancia amortiguada puede comprender derivar una posición del rotor a partir del valor de signatura de respuesta de resonancia amortiguada obtenido, también denominado valor de signatura de posición. El valor de signatura de respuesta de resonancia amortiguada, también denominado valor de signatura de posición, puede determinarse basándose en la respuesta de resonancia amortiguada. La orden de pulso de prueba puede adaptarse para generar un pulso de prueba de tensión en una fase inactiva de la máquina de polos salientes, aunque la invención no se limita a lo mismo tal como se expuso anteriormente.

A modo de ilustración, sin limitarse la presente invención a lo mismo, se describe con referencia a la figura 9 un método a modo de ejemplo para determinar una posición de rotor, y en el presente ejemplo controlar adicionalmente basándose en lo mismo una máquina de polos salientes. El método a modo de ejemplo 400 ilustra etapas convencionales y opcionales según una realización de la presente invención.

En una primera etapa 410, se realiza la generación de una orden de pulso de prueba para aplicar un pulso de prueba de tensión en una fase de prueba de la máquina. El pulso de prueba de tensión puede ser tal como se describió en el aspecto primero o segundo. Generar un pulso de prueba de tensión puede comprender forzar los potenciales de la fase de prueba mediante acciones de conmutación del inversor en esta fase o acciones de conmutación en una fase o circuito de excitación, cuyos terminales están acoplados de manera capacitiva con los

terminales de la fase de prueba.

En una segunda etapa 420, puede medirse una respuesta de resonancia amortiguada al pulso de prueba de tensión en una fase medida. La fase medida también puede ser una bobina de detección. Puede medirse un parámetro eléctrico, que es preferiblemente una señal de tensión, aunque también pueden usarse otros parámetros eléctricos, tales como la corriente o la derivada en el tiempo de la corriente en la fase medida. Si el pulso de prueba de tensión se aplica a una fase en la que fluye una corriente sustancial al final del pulso de prueba de tensión, puede requerirse una medición adicional de un parámetro eléctrico, por ejemplo la corriente al final del pulso de prueba de tensión o el tiempo de desactivación de diodos de rueda libre.

Tal como se expuso anteriormente, la posición del rotor con respecto al estator de la máquina de polos salientes influirá sobre la respuesta de resonancia amortiguada al pulso de prueba de tensión. A partir de la respuesta de resonancia amortiguada puede determinarse un valor de signatura de respuesta de resonancia amortiguada, también denominado valor de signatura de posición. La determinación del valor de signatura de posición puede realizarse basándose en una, dos o más muestras de la respuesta de resonancia amortiguada, sin limitarse la invención a esto. Estas muestras son representativas de un valor de signatura de posición. En algunas realizaciones según la presente invención, también puede realizarse una medición de corriente, es decir por ejemplo si se aplica el pulso de prueba de tensión en una fase activa o en el caso de saturación de una trayectoria magnética común entre la fase medida y una fase activa.

Una tercera etapa 430 comprende derivar una posición de rotor basándose en la respuesta de resonancia amortiguada o más particularmente en el valor de signatura de posición obtenido a partir de la misma. Esto último puede realizarse basándose en el cálculo o la comparación con valores de calibración predeterminados, tal como por ejemplo basándose en el uso de una tabla de consulta, basándose en un algoritmo predeterminado, basándose en una red neural, etc. Tal cálculo o valores de calibración predeterminados pueden expresar una relación entre la posición de rotor con respecto al estator de la máquina de polos salientes. Esto último da como resultado la determinación de la posición de un rotor. Para esta derivación de la posición de rotor, en algunas realizaciones también pueden tenerse en cuenta resultados de una medición de corriente adicional.

En la etapa 440 puede usarse este resultado para controlar el accionamiento de la máquina de polos salientes. En otras palabras, a partir de la salida de la etapa 430, puede adaptarse el control de la máquina de polos salientes tal como por ejemplo seleccionando la estrategia de control apropiada y/o realizando el control, basándose en la posición de rotor obtenida en la máquina de polos salientes. Por ejemplo puede decidirse realizar la conmutación entre fases de la máquina de polos salientes, aumentar la velocidad o el par motor de la máquina de polos salientes, disminuir la velocidad o el par motor de la máquina de polos salientes, conmutar a un procedimiento de seguridad, por ejemplo detener el funcionamiento de la máquina de polos salientes, etc. Pueden realizarse características adicionales de esta etapa según la funcionalidad de los componentes descritos en el primer aspecto.

Para derivar una posición de rotor basándose en la respuesta de resonancia amortiguada obtenida, se realiza ventajosamente la calibración entre la posición de rotor y un valor de signatura de posición obtenido a partir de una respuesta de resonancia amortiguada a un pulso de prueba de tensión. Esto último se ilustra mediante una etapa separada 450 que comprende proporcionar la entrada de calibración. La presente invención también se refiere por tanto en un aspecto adicional a un método para determinar una correlación entre un valor de signatura de posición obtenido a partir de una respuesta de resonancia amortiguada en respuesta a un pulso de prueba de tensión y una posición de rotor. Un método de este tipo comprende, para una pluralidad de posiciones predeterminadas y conocidas o medidas del rotor con respecto al estator 452, aplicar un pulso de prueba de tensión 454 y determinar un valor de signatura de posición 456 para la posición predeterminada del rotor. De nuevo, tal valor de signatura de posición puede obtenerse mediante uno, dos o más valores de muestreo o una propiedad determinada basándose en los mismos. Posteriormente, el método de calibración puede comprender proporcionar una tabla de consulta que indica la posición de rotor en función de un valor de signatura de respuesta de resonancia amortiguada o un valor de signatura de posición obtenido a partir de una respuesta de resonancia amortiguada, una relación matemática determinada entre el valor de signatura de respuesta de resonancia amortiguada o un valor de signatura de posición obtenido a partir de la respuesta de resonancia amortiguada y la posición de rotor, o similar.

Las realizaciones de método descritas anteriormente para controlar una máquina de polos salientes pueden implementarse al menos parcialmente en un sistema de procesamiento 500 tal como se muestra en la figura 10. La figura 10 muestra una configuración de un sistema de procesamiento 500 que incluye al menos un procesador programable 503 acoplado a un subsistema de memoria 505 que incluye al menos una forma de memoria, por ejemplo, RAM, ROM, etcétera. Debe observarse que el procesador 503 o los procesadores pueden ser un procesador de uso general o uno de uso especial, y puede ser para su inclusión en un dispositivo, por ejemplo, un chip que tiene otros componentes que realizan otras funciones. Por tanto, uno o más aspectos de la presente invención pueden implementarse en circuitería electrónica digital, o en hardware, firmware, software informáticos, o en combinaciones de los mismos. Por ejemplo, la determinación de propiedades de pulso de prueba y/o la determinación de la respuesta de resonancia amortiguada, y/o la determinación de un valor de signatura de posición a partir de una respuesta de resonancia amortiguada y/o la determinación de una posición de rotor a partir de un valor de signatura de posición pueden ser una etapa implementada por ordenador. Por tanto, aunque un sistema de procesamiento 500 tal como se muestra en la figura 10 es técnica anterior, un sistema que incluye las instrucciones

para implementar aspectos de los métodos para controlar una máquina de polos salientes o para derivar una posición de rotor en una máquina de polos salientes no es técnica anterior, y por tanto la figura 10 no se marca como técnica anterior.

5 La presente invención también incluye un producto de programa informático que proporciona la funcionalidad de cualquiera de los métodos según la presente invención cuando se ejecuta en un dispositivo informático. Tal producto de programa informático puede realizarse de manera tangible en un medio portador que lleva código legible por máquina para su ejecución por un procesador programable. La presente invención se refiere por tanto a un medio portador que lleva un producto de programa informático que, cuando se ejecuta en medios informáticos, proporciona instrucciones para ejecutar cualquiera de los métodos tal como se describieron anteriormente. El término "medio portador" se refiere a cualquier medio que participa en proporcionar instrucciones a un procesador para su ejecución. Un medio de este tipo puede adoptar muchas formas, incluyendo, pero sin limitarse a, medios no volátiles y medios de transmisión. Los medios no volátiles incluyen, por ejemplo, discos ópticos o magnéticos, tales como un dispositivo de almacenamiento que es parte de almacenamiento en masa. Las formas comunes de medios legibles por ordenador incluyen un CD-ROM, un DVD, un disco flexible o disquete, una cinta, un cartucho o chip de memoria o cualquier otro medio a partir del cual puede leer un ordenador. Diversas formas de medios legibles por ordenador pueden participar en llevar una o más secuencias de una o más instrucciones a un procesador para su ejecución. El producto de programa informático también puede transmitirse a través de una onda portadora en una red, tal como una LAN, una WAN o Internet. Los medios de transmisión adoptan la forma de ondas acústicas o de luz, tales como las generadas durante comunicaciones de datos por infrarrojos y ondas de radio. Los medios de transmisión incluyen cables coaxiales, fibra de cobre y fibras ópticas, incluyendo los cables que comprenden un bus dentro de un ordenador.

25 Debe entenderse que aunque se han comentado realizaciones preferidas, construcciones y configuraciones específicas, así como materiales, en el presente documento para dispositivos según la presente invención, pueden realizarse diversos cambios o modificaciones en cuanto a la forma y los detalles sin apartarse del alcance de esta invención según se define por las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, cualquier fórmula facilitada anteriormente es simplemente representativa de los procedimientos que pueden usarse. Puede añadirse o eliminarse funcionalidad de los diagramas de bloques y pueden intercambiarse operaciones entre bloques funcionales. Pueden añadirse o eliminarse etapas a métodos descritos dentro del alcance de la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de prueba (200) para una máquina de polos salientes (230), estando adaptado el sistema de prueba (200) para generar una orden de pulso de prueba para aplicar un pulso de prueba de tensión a un devanado de fase de la máquina (230), comprendiendo el sistema de prueba
5 un circuito de medición (240) adaptado para determinar una respuesta de resonancia amortiguada después de la finalización del pulso de prueba de tensión, momento en el que al menos se desacopla un terminal de un devanado de fase de la máquina, y
10 un procesador (250) adaptado para derivar del mismo una posición de un rotor de la máquina de polos salientes (230)
en el que el circuito de medición está adaptado para determinar la influencia del intercambio de energía entre una inductancia de máquina de polos salientes y una capacitancia parásita (312) de la máquina de polos salientes y los componentes de generador de pulsos de prueba de tensión en la respuesta de resonancia amortiguada.
- 15 2. Sistema de prueba (200) según la reivindicación anterior, comprendiendo el sistema de prueba un generador de orden de pulso de prueba (210) para generar una orden de pulso de prueba para aplicar un pulso de prueba de tensión para forzar los potenciales de un devanado de fase de la máquina (230) a niveles predeterminados, comprendiendo además el sistema de prueba un generador de pulsos de prueba de tensión para generar el pulso de prueba de tensión.
- 20 3. Sistema de prueba (200) según la reivindicación 2, comprendiendo el generador de pulsos de prueba de tensión un inversor para accionar la máquina de polos salientes, donde las acciones de conmutación del inversor que acciona la máquina de polos salientes generan los pulsos de prueba de tensión.
4. Sistema de prueba (200) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los potenciales en el sistema de prueba se desacoplan al final del pulso de prueba de tensión para iniciar la respuesta de resonancia amortiguada al pulso de prueba.
25 5. Sistema de prueba (200) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el circuito de medición está adaptado para determinar una respuesta de resonancia amortiguada después de la finalización del pulso de prueba de tensión en la señal de accionamiento eléctrico.
6. Sistema de prueba (200) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el procesador (250) está adaptado para derivar un valor de signatura de posición a partir de la respuesta de resonancia amortiguada.
30 7. Sistema de prueba (200) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un controlador (260) para controlar el accionamiento de la máquina de polos salientes en función de la posición de rotor derivada.
- 35 8. Máquina de polos salientes que comprende una unidad de prueba según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.
9. Uso de un sistema de prueba (200) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 en una máquina de polos salientes.
- 40 10. Método (400) para determinar una posición de rotor en una máquina de polos salientes, comprendiendo el método
- generar (410) una orden de pulso de prueba para aplicar un pulso de prueba de tensión a un devanado de fase de la máquina,
- determinar (420) una respuesta de resonancia amortiguada después de la finalización del pulso de prueba de tensión, momento en el que al menos se desacopla un terminal de un devanado de fase de la máquina teniendo en cuenta la influencia del intercambio de energía entre una inductancia de máquina de polos salientes y una capacitancia parásita (312) de la máquina de polos salientes y los componentes de generador de pulsos de prueba de tensión en la respuesta de resonancia amortiguada., y
- derivar (430) de la respuesta de resonancia amortiguada una posición de un rotor de la máquina de polos salientes.
- 45 11. Método (400) según la reivindicación 10, en el que la derivación de una posición de un rotor comprende
- 50

- determinar un valor de signature de posición a partir de la respuesta de resonancia amortiguada y
 - derivar una posición del rotor a partir del valor de signature de posición.
12. Método para calibrar un sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, comprendiendo el método una pluralidad de posiciones de rotor (452),
- 5 - generar (454) una orden de pulso de prueba para aplicar un pulso de prueba de tensión a un devanado de fase de la máquina,
- determinar (454) una respuesta de resonancia amortiguada después de la finalización del pulso de prueba de tensión, momento en el que al menos se desacopla un terminal de un devanado de fase de la máquina, y derivar una relación entre la respuesta de resonancia amortiguada y la posición de rotor conocida.
- 10
13. Método según la reivindicación 12, en el que la derivación de una relación comprende
- determinar un valor de signature de posición a partir de la respuesta de resonancia amortiguada y
 - derivar una relación entre el valor de signature de posición y la posición de rotor conocida.
14. Producto de programa informático para, cuando se ejecuta en un ordenador, realizar un método según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13.
- 15

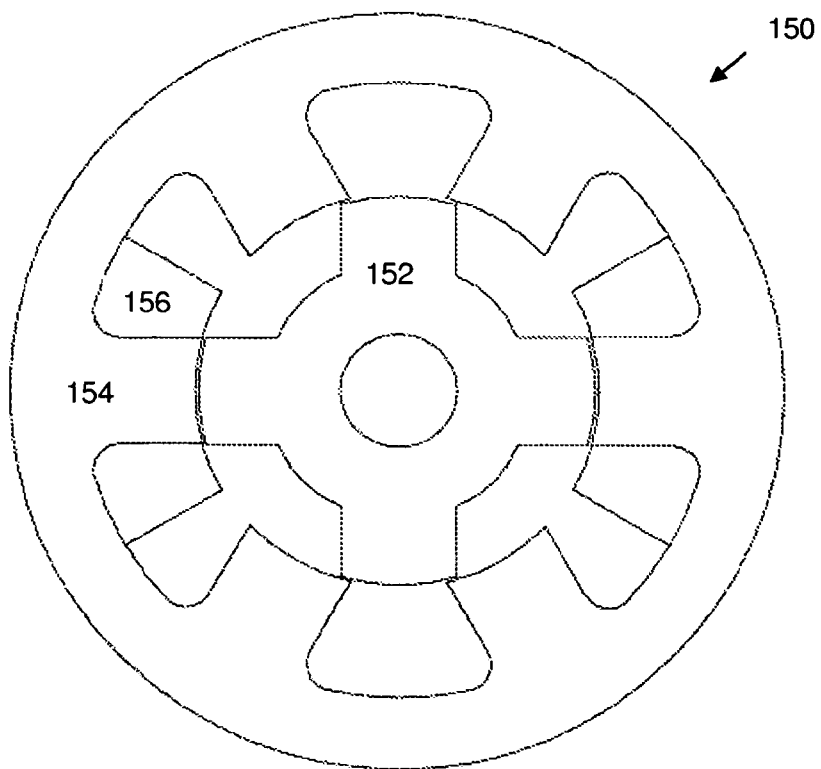


FIG. 1

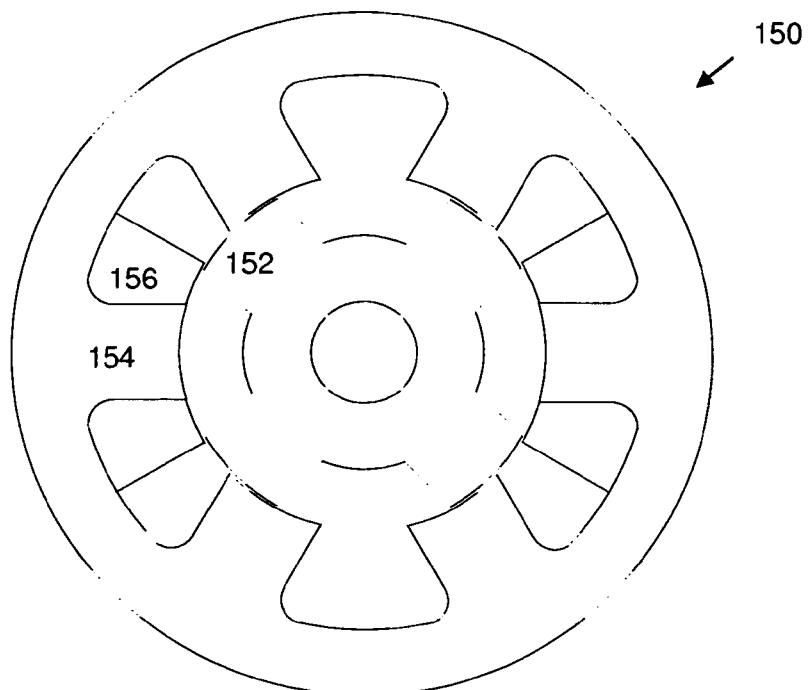


FIG. 2

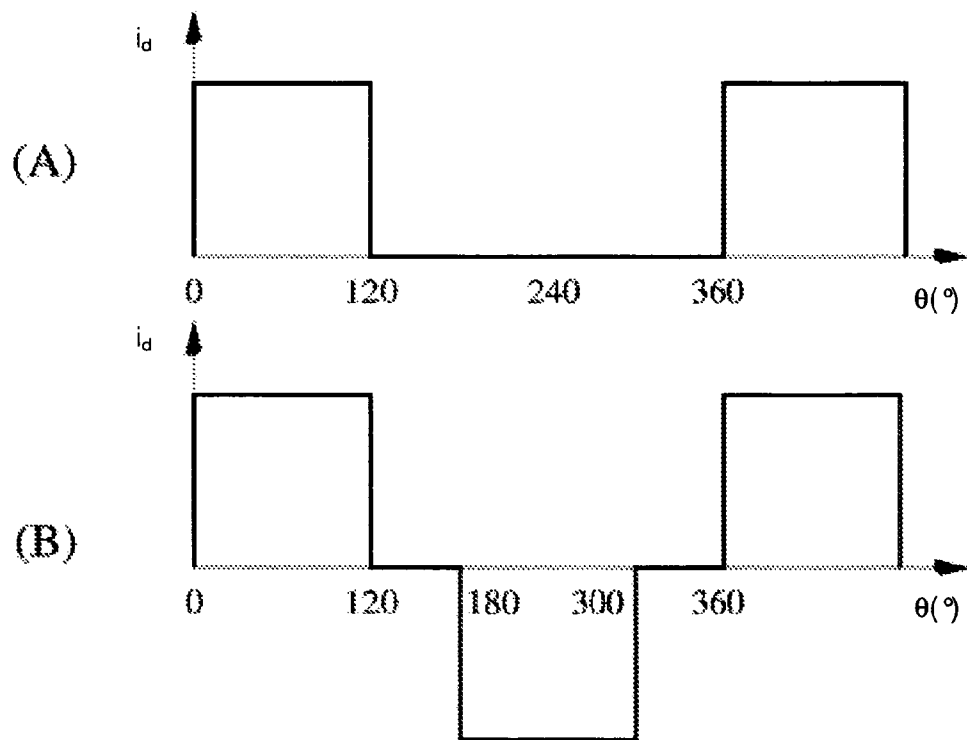


FIG. 3

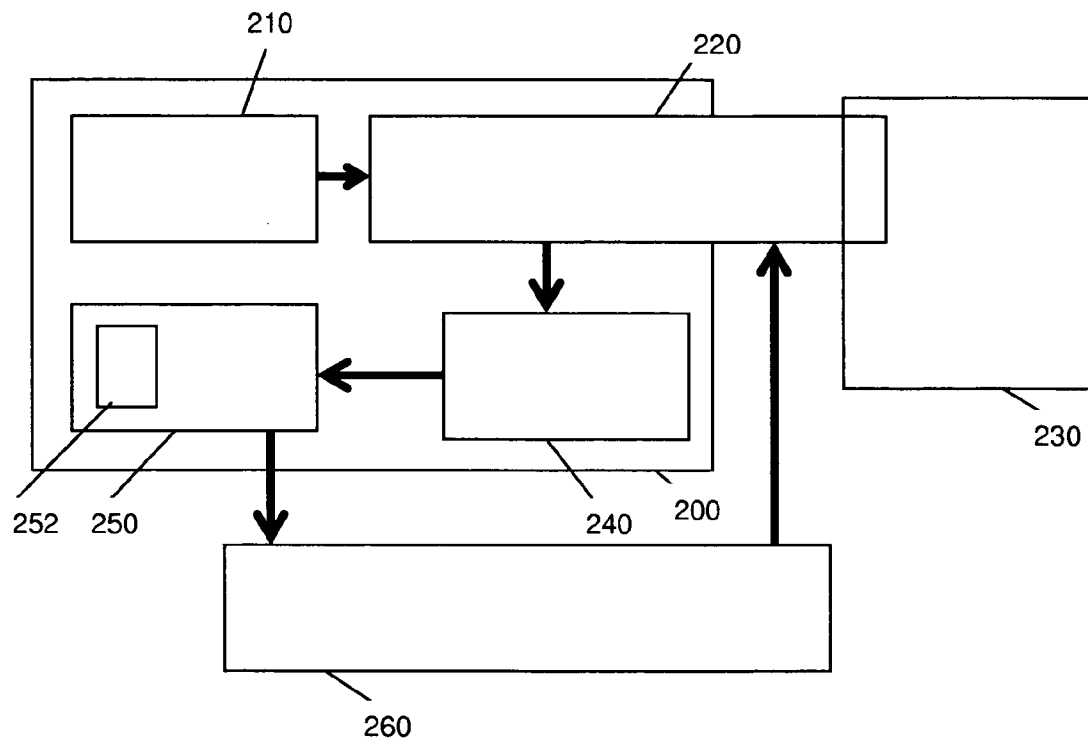


FIG. 4

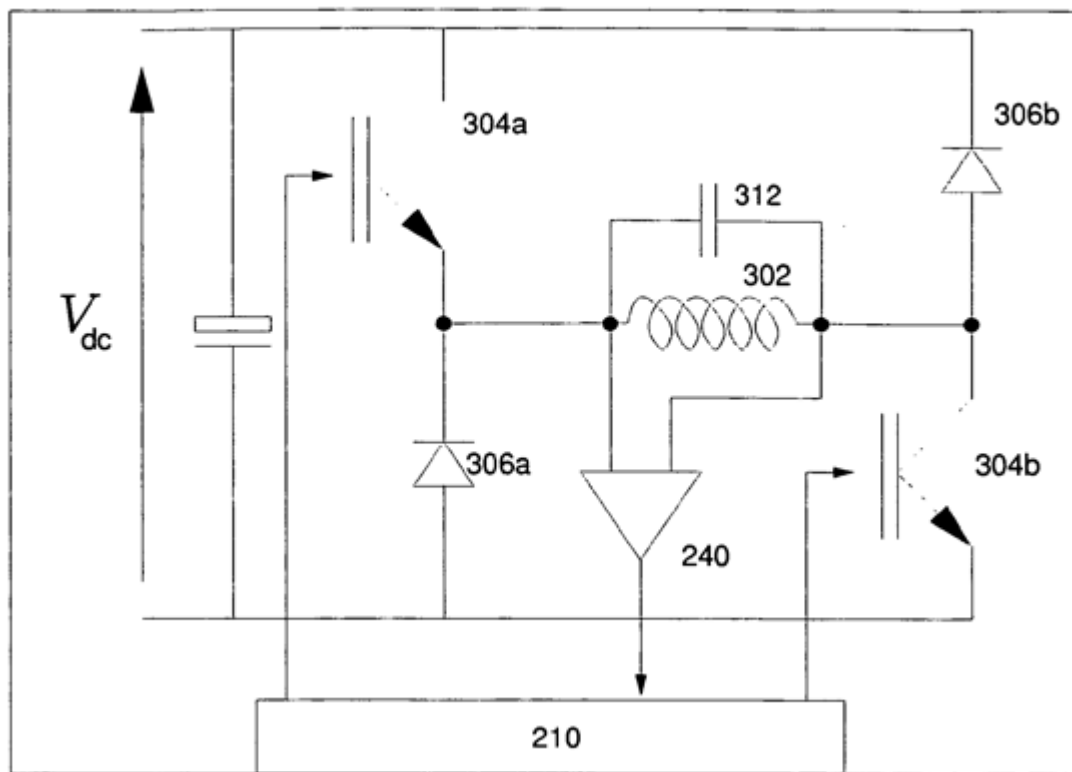


FIG. 5

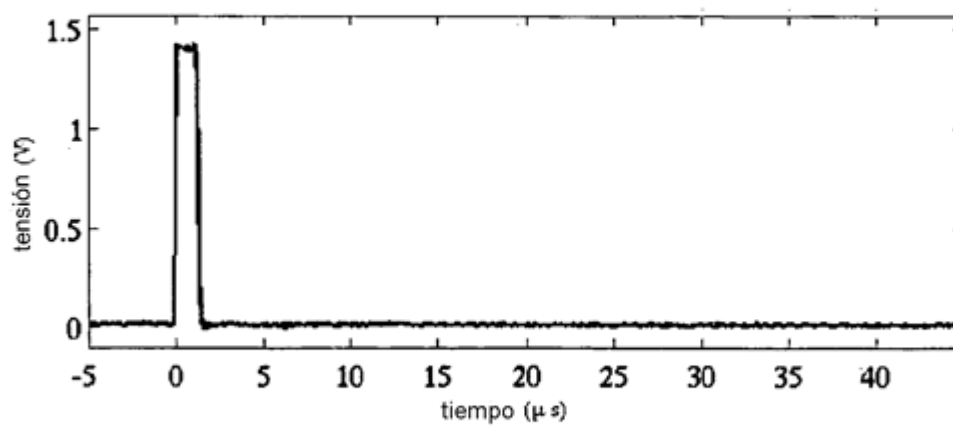


FIG. 6A

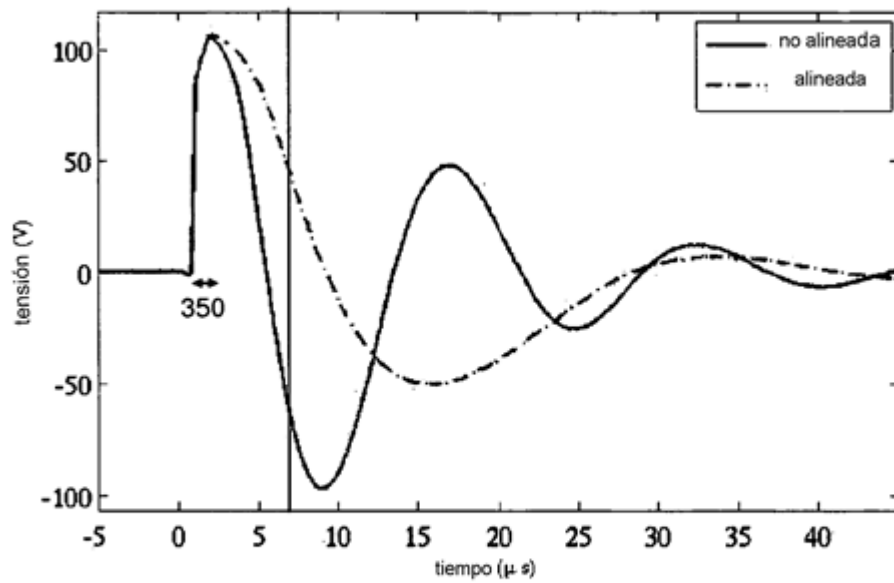


FIG. 6B

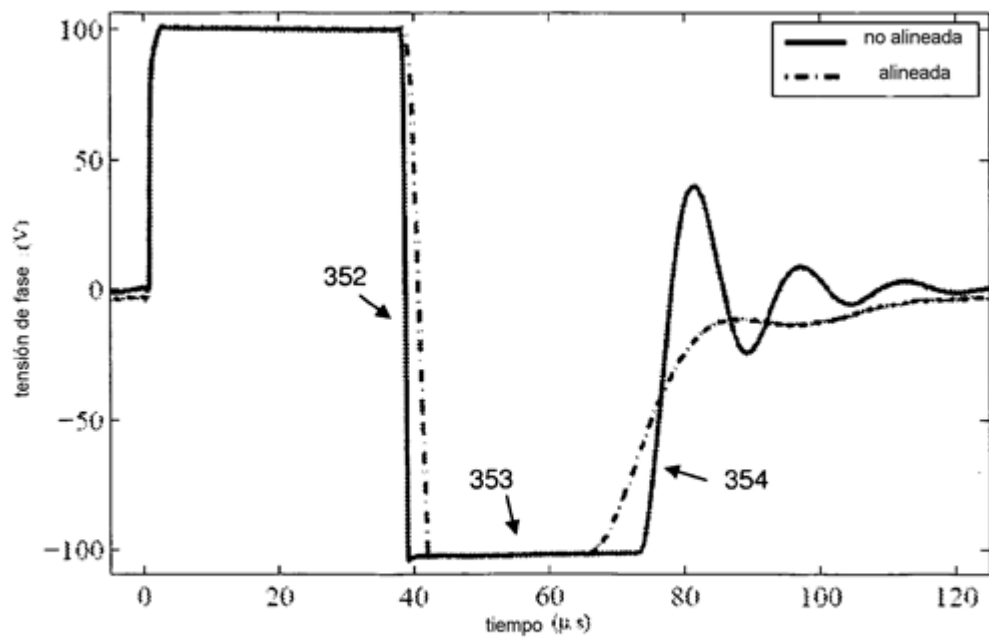


FIG. 6C

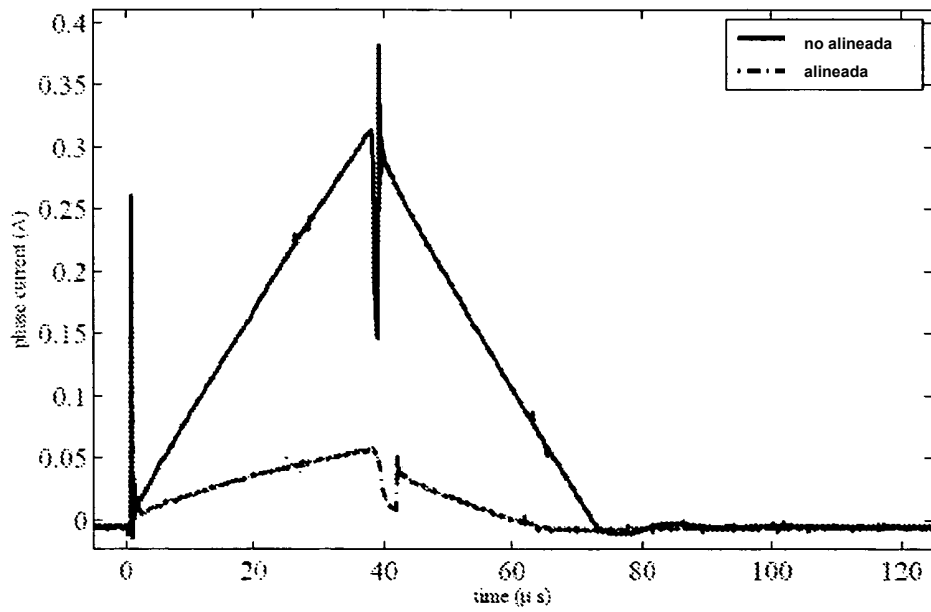


FIG. 6D

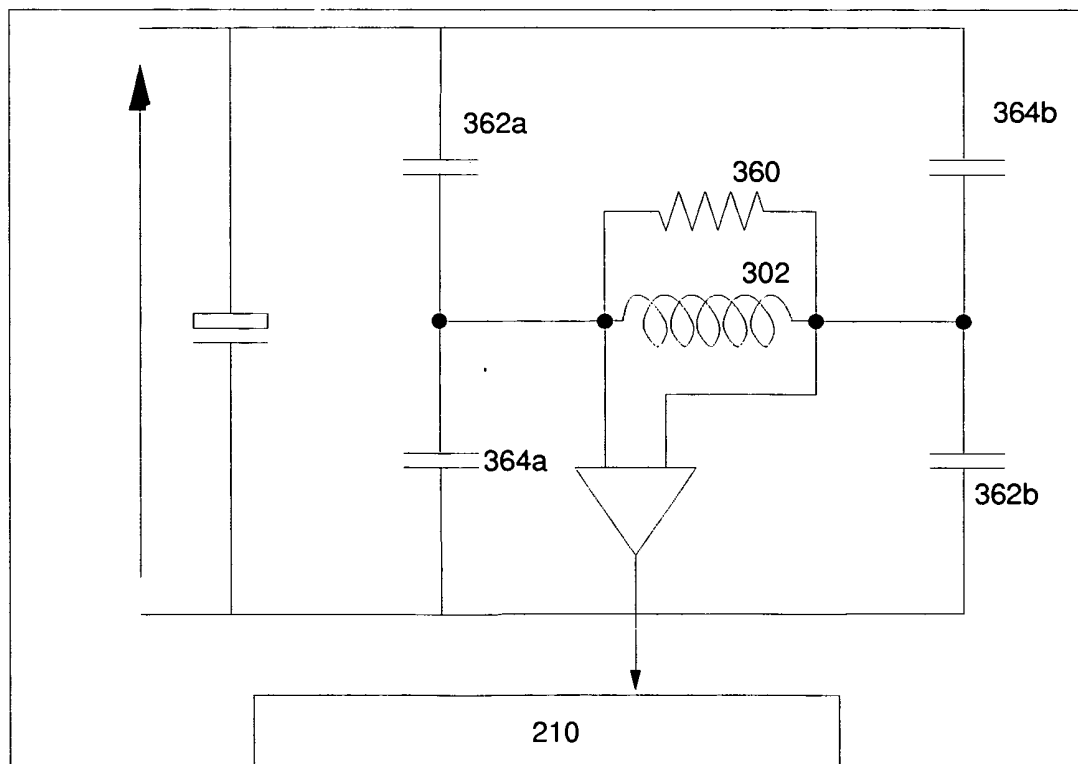


FIG. 7A

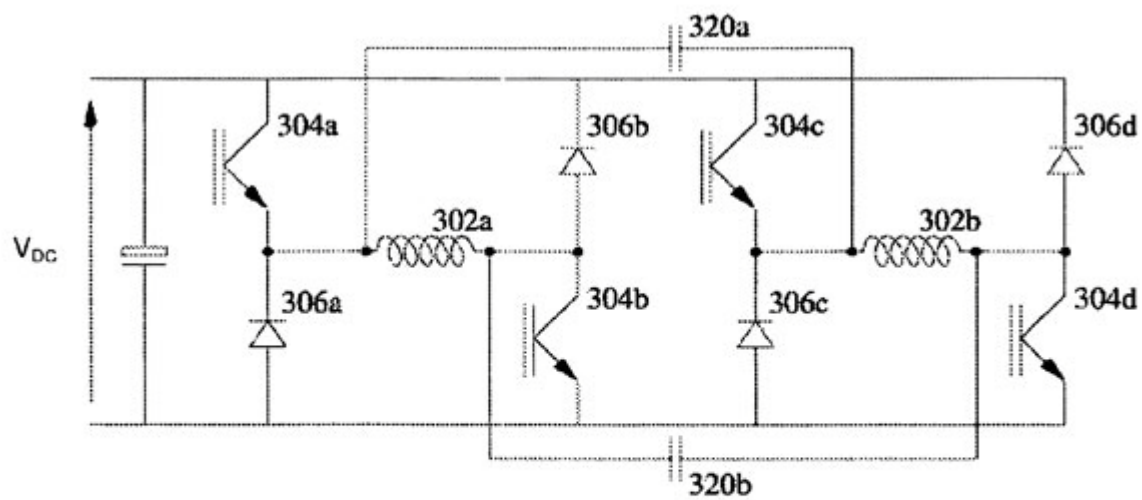


FIG. 7B

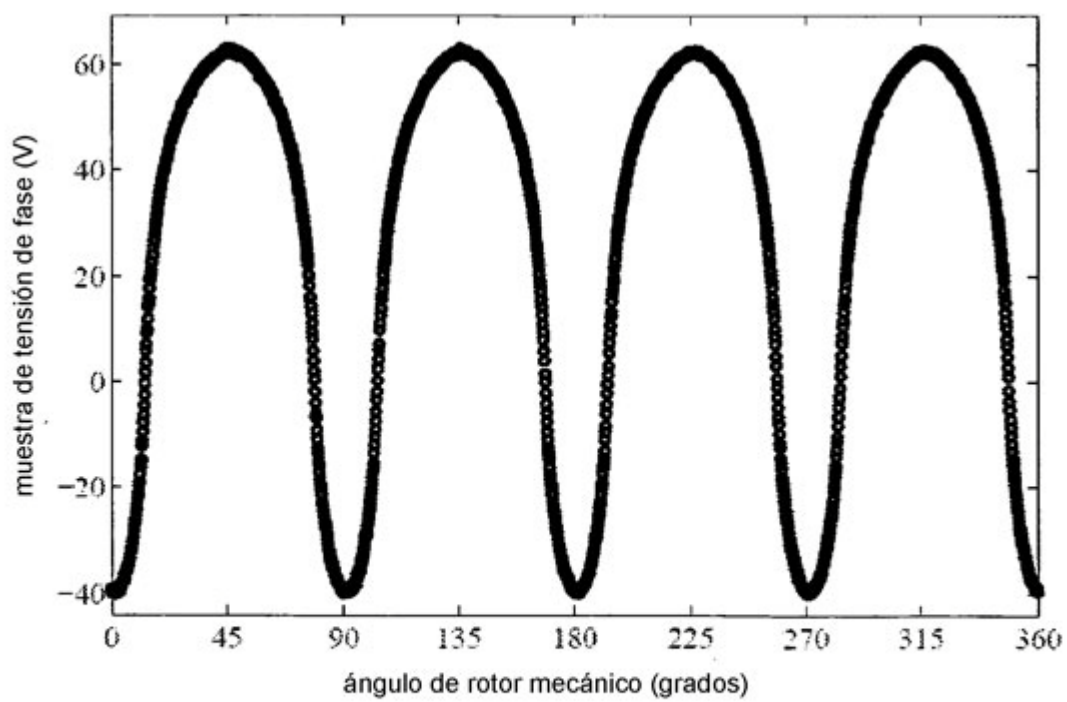


FIG. 8

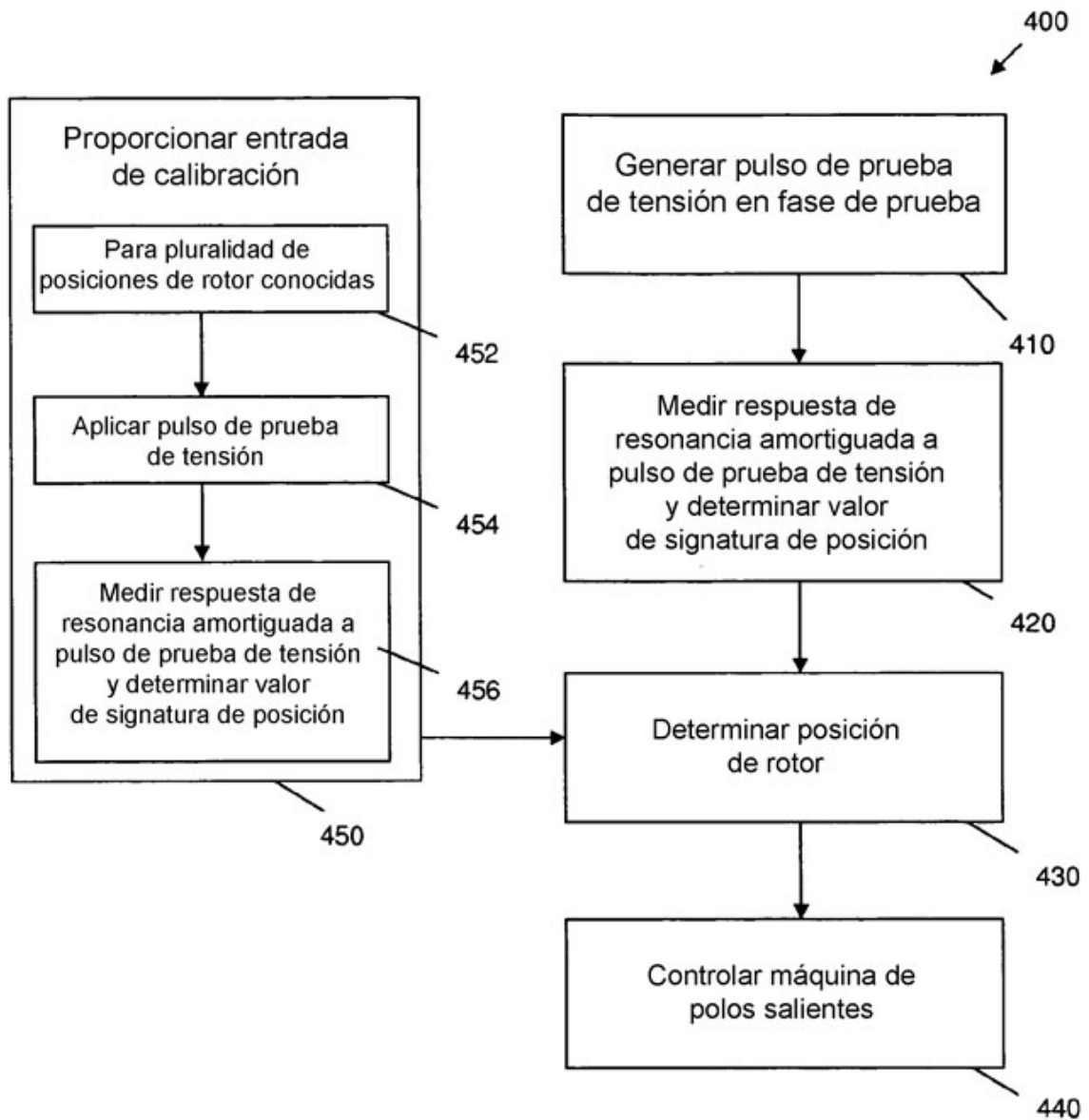


FIG. 9

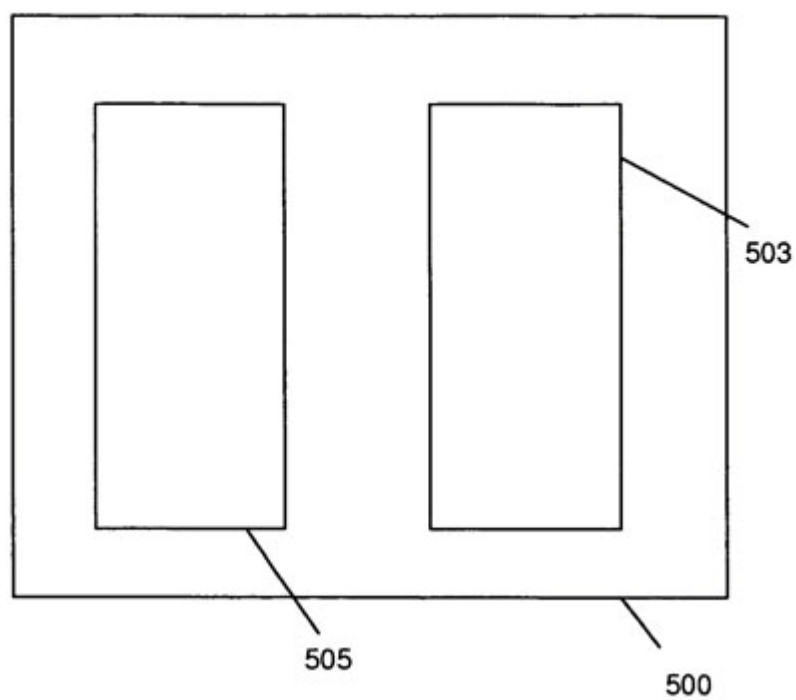


FIG. 10

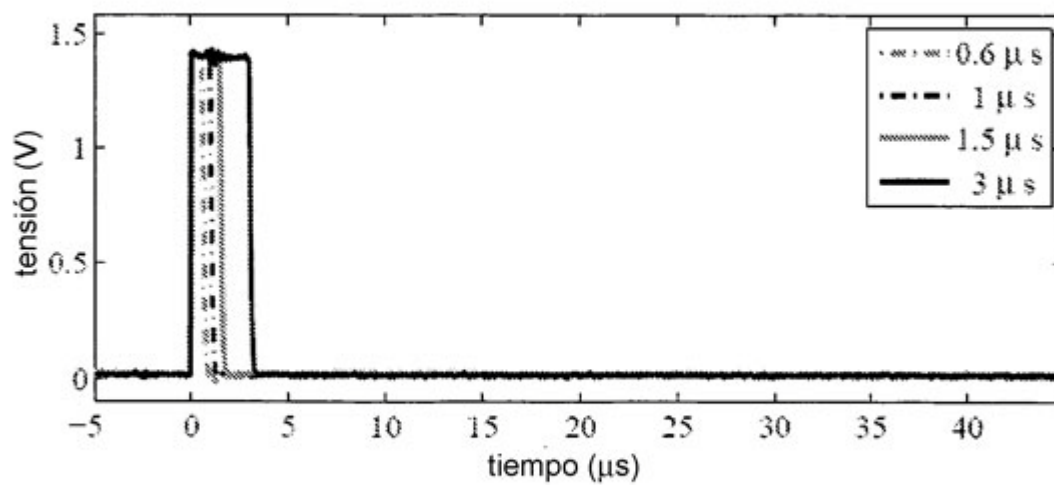
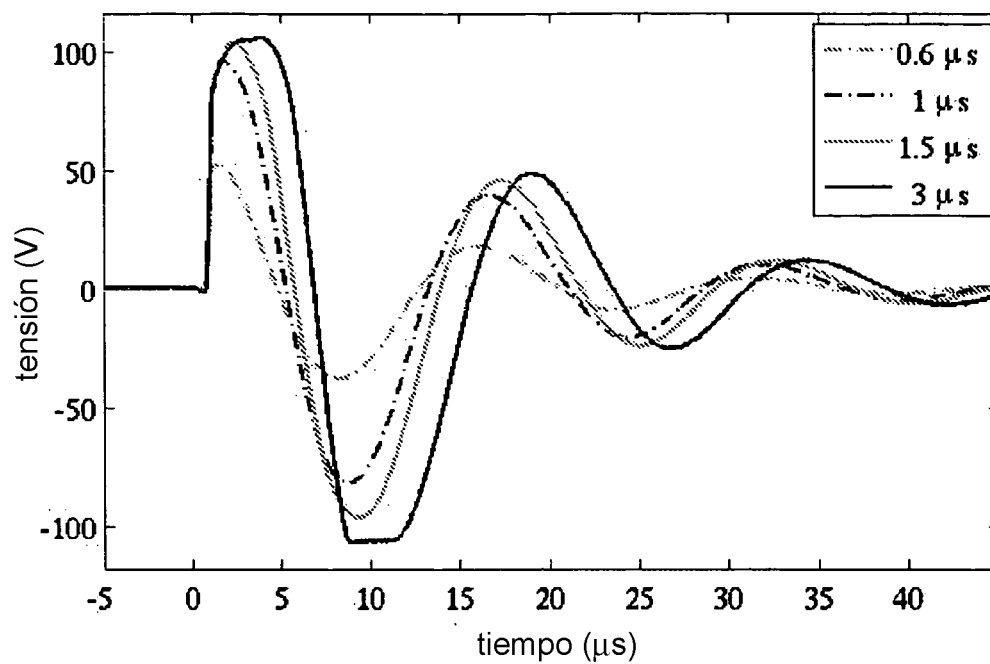
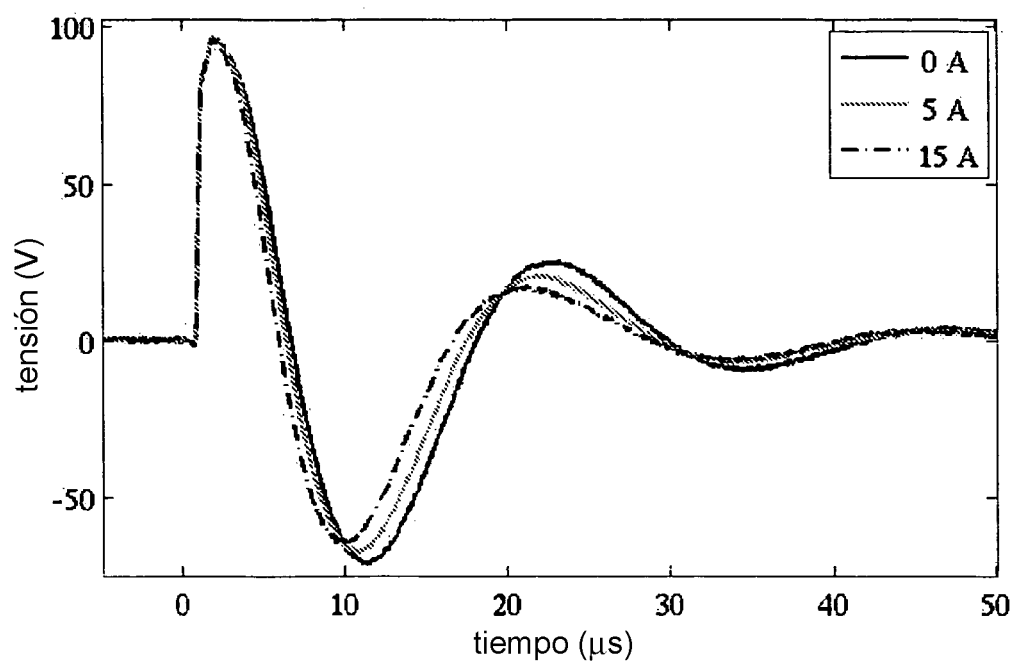


FIG. 11A

**FIG. 11B****FIG. 12**