



①9



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

①1 Número de publicación: **2 288 494**

⑤1 Int. Cl.:

H02P 8/04 (2006.01)

H02P 8/24 (2006.01)

H02P 8/22 (2006.01)

①2

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑧6 Número de solicitud europea: **01121258 .6**

⑧6 Fecha de presentación : **11.09.1996**

⑧7 Número de publicación de la solicitud: **1178599**

⑧7 Fecha de publicación de la solicitud: **06.02.2002**

⑤4 Título: **Sistema de control de motores paso a paso en lazo abierto.**

③0 Prioridad: **11.09.1995 US 526468**

④5 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.01.2008

④5 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.01.2008

⑦3 Titular/es: **Cardinal Health 303, Inc.**
10221 Wateridge Circle Building A
San Diego, California 92121, US

⑦2 Inventor/es: **Holdaway, Charles R.**

⑦4 Agente: **Torner Lasalle, Elisabet**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema de control de motores paso a paso en lazo abierto.

5 La invención se refiere en general a control de motores y más en particular, a sistemas de control de motores paso a paso en lazo abierto que reducen el ruido acústico a la vez que mantienen un par suficiente.

Un motor paso a paso aplica par a su carga en una serie de pasos discretos y por consiguiente puede actuar como un transductor de sonido, que genera un tono audible con una frecuencia fundamental igual a su frecuencia del paso. Si el motor va a poder ser accionado sobre una amplia gama de frecuencias del paso, una o más de dichas frecuencias provocará probablemente frecuencias de resonancia de la carga mecánica del motor, o del propio motor, dando lugar a la producción de cantidades de ruido acústico inaceptables y a un funcionamiento menos eficaz.

En el campo del equipamiento médico, por lo general es deseable reducir el nivel de ruido del equipamiento en beneficio del paciente y de los demás. Por ejemplo, las bombas de infusión que contienen motores paso a paso generalmente van colocadas cerca de un paciente y puede funcionar durante horas. Puede ser perturbador para un paciente cuando la bomba genera una gran cantidad de ruido. Adicionalmente, cierto equipamiento médico que incluye muchas bombas de infusión, tiene que ser alimentado mediante una fuente de energía portátil que tiene un depósito limitado de potencia, tal como baterías, y por lo tanto el equipamiento debe diseñarse para que consuma la menor energía posible. De esta forma, el equipamiento puede asistir al paciente el mayor tiempo posible antes de que se requiera cambiar o recargar una batería. Así, niveles de ruido reducidos y niveles de consumo de energía reducidos son características deseables en las bombas de infusión y demás equipamiento médico.

En un motor paso a paso una fuente de ruido acústico es la forma de onda del accionamiento motorizado. El medio más simple de accionamiento de un motor paso a paso es el modo de “paso completo” en el cual el motor bifásico es accionado por una onda cuadrada de corriente o tensión de magnitud constante. De este modo, cada paso corresponde a uno de 2^N estados posibles de la polaridad de la corriente del devanado del motor, en donde N es el número de devanados del motor (o fases). Este tipo de accionamiento genera ruido acústico con contenido armónico elevado debido a la elevada aceleración angular que resulta de la elevada velocidad de cambio del par que tiene lugar en el borde de ataque de cada paso. Adicionalmente, cuando la velocidad de accionamiento es sub-óptima y el rotor alcanza su posición antes de que las corrientes de los devanados sean conmutadas, puede producirse una oscilación amortiguada del rotor alrededor de la posición del campo magnético del motor con el resultado de un exceso de ruido y energía derrochada al proporcionar un par negativo para mantener el rotor y se pierde energía simplemente calentando los devanados debido a la resistencia encontrada.

La componente de ruido puede reducirse si la magnitud de los impulsos del par se reduce reduciendo la magnitud del impulso de accionamiento del motor. No obstante, una reducción de estas características reduce además la reserva de par disponible del motor, lo que acarrea un mayor riesgo de calado del motor o “desincronismo” donde el “desincronismo” se refiere a la pérdida de sincronización debida a que la carga sobre el motor excede la potencia disponible en el motor para mover la carga, así, el motor se “desincroniza” de su ciclo de movimiento y pierde uno o más pasos. Esta condición puede dar lugar a errores de posicionamiento debidos a los pasos perdidos.

Es necesario disponer de una reserva de par adecuada en el caso de que puedan producirse ciertas condiciones indeseables. En el campo de la medicina en el que se emplee un motor paso a paso para accionar un mecanismo de bombeo, tal como una bomba peristáltica, las alturas hidrostáticas del fluido de infusión cambian, los infusatos pueden resultar particularmente viscosos, y temperaturas frías pueden requerir mayor potencia para mover el mecanismo peristáltico, por ejemplo. El par nominal del motor deberá ser lo bastante elevado para poder soportar todas estas circunstancias, pero en cualquier caso, su par nominal más su reserva de par debe ser suficientemente elevado o si no puede producirse el desincronismo del motor. Habitualmente, un mecanismo tiene un par nominal y una reserva de par. En una realización, el par de reserva se establece en el setenta por ciento del par nominal “sin calarse”.

Se ha averiguado que el ruido del motor puede reducirse de manera significativa mediante la técnica conocida como “micropaso”. El “Micropaso” es un medio de accionamiento de un motor a través de un paso con una serie de estados de magnitud de corriente que generan desplazamientos angulares más pequeños de la posición vectorial del campo magnético del motor. La suma de estos desplazamientos es igual a la de un paso. Dado que el par instantáneo es aproximadamente una función sinusoidal del desplazamiento angular de una posición vectorial del campo magnético del motor desde su posición del rotor, un desplazamiento angular más pequeño da lugar a un par instantáneo menor. Un par instantáneo menor genera una aceleración angular en el borde de ataque de cada “micropaso” menor al que generaría en el borde de ataque de cada paso en el modo de accionamiento de “paso completo”. El efecto es propagar la gran aceleración que tiene lugar normalmente al comienzo del paso durante todo el paso como una serie de pequeñas aceleraciones, reduciendo de ese modo el nivel de ruido acústico.

No obstante, el “micropaso” no es una técnica satisfactoria de reducción de ruido si tiene que ser limitado el consumo de energía como en las aplicaciones alimentadas por baterías. En la técnica de micropaso, las corrientes de los devanados del motor, que definen la secuencia de estado, deben mantenerse a través de toda la secuencia, dando lugar a un consumo de energía relativamente alto. Se hallan disponibles otros modos de paso con consumo de energía más bajo, tales como el modo “una fase excitada” donde las corrientes de los devanados se desconectan tras la aceleración inicial para ahorrar energía. No obstante estos modos son más ruidosos que el modo micropaso.

El micropaso tampoco es deseable cuando la anchura de banda es limitada. A medida que el número de micropasos aumenta, el requisito de anchura de banda del controlador aumenta requiriendo una capacidad de hardware mayor para soportar una velocidad de trabajo más rápida. Esta capacidad mayor acarrea un mayor coste y una mayor complejidad.

Además, el tipo de circuito de accionamiento del motor puede tener un efecto directo sobre el coste. Por ejemplo, los circuitos de accionamiento en lazo cerrado requieren habitualmente sensores para proporcionar la retroalimentación de control necesaria. El coste del sensor así como la anchura de banda adicional del procesador requerida para utilizar las entradas del sensor que controlan el circuito de accionamiento puede dar lugar a un aumento de coste sustancial. En este aspecto es preferible un sistema en lazo abierto.

De ese modo, un mayor control sobre el consumo de energía es importante en aplicaciones en las que se desee una larga duración de la batería. El suministro de potencia excesiva a los devanados del motor paso a paso puede dar lugar a un derroche de energía y a un acortamiento de la vida de la batería. Se puede perder energía debido a la resistencia del devanado. De manera similar, el movimiento del motor a su frecuencia de resonancia resulta poco eficiente y puede dar lugar a un derroche de energía debido a que se crea un par relativamente pequeño a partir de la gran potencia de entrada que es suministrada al motor. Así, resulta deseable un control preciso del motor para evitar el derroche de la energía limitada.

La US 4.683.408 divulga un aparato de control de un motor paso a paso, el cual calcula una corriente de excitación de la bobina del motor que corresponde a una posición de retención, estando basado el cálculo en un modelo de forma de onda predeterminado. El motor paso a paso es accionado hacia la posición final de retención a través de una distancia de transferencia del micropaso la cual es más corta que un intervalo de transferencia del paso regular. No obstante, la disposición del motor paso a paso divulgada en este documento adolece aún de potencia acústica desventajosa.

La US 4.418.907 divulga un método y una disposición para controlar un motor "digital" el cual está configurado para permitir el funcionamiento del motor en un modo micropaso a baja velocidad, pero que permita el funcionamiento en un modo no micropaso a una velocidad del motor más alta con objeto de aprovecharse del mayor par disponible a velocidades más altas.

La WO91/10946 divulga una disposición de accionamiento por motor para controlar y accionar una motobomba peristáltica, en la cual la longitud de una señal de accionamiento viene determinada por la frecuencia de una primera serie de impulsos generada por un primer circuito a una frecuencia dada. Además, va provisto un segundo circuito el cual genera una segunda serie de impulsos que tienen una frecuencia la cual es mayor que la frecuencia de la primera serie de impulsos. Va provisto un tercer circuito el cual genera la tercera serie de impulsos que tiene una frecuencia que cae entre la frecuencia de la primera y segunda serie de impulsos. La señal de accionamiento está dividida en dos secciones, a saber, una fase de impulsos inicial determinada por la frecuencia de la tercera serie de impulsos, y una fase de impulsos modulados que es una serie de impulsos determinada por la frecuencia de la segunda serie de impulsos.

De ahí que, los expertos en la materia hayan reconocido la necesidad de reducir la potencia acústica de los dispositivos médicos reduciendo también a la vez el consumo de energía, pero manteniendo una reserva de par adecuada. Adicionalmente, los expertos en la materia han reconocido también la necesidad de un sistema de control en lazo abierto para reducir el hardware y los costes del procesador. La presente invención satisface estas y otras necesidades.

Resumen de la invención

Brevemente y en términos generales, la presente invención va dirigida a un sistema de control para controlar el movimiento de un motor, comprendiendo el sistema una fuente de energía y un controlador para controlar la aplicación de energía al motor desde la fuente de energía para controlar el movimiento del motor, en donde, el controlador aplica energía al motor de una manera incremental no-lineal para iniciar el movimiento del motor.

Según un primer aspecto de la presente invención, se ha provisto un sistema de control para controlar el movimiento de un motor paso a paso, que comprende:

una fuente de energía;

un controlador que aplica energía desde la fuente de energía para acelerar el motor a través del primer y segundo pasos del motor, en donde el primer paso del motor incluye una pluralidad de micropasos; y el segundo paso del motor incluye una segunda pluralidad de micropasos, en donde la primera pluralidad de micropasos es mayor que la segunda pluralidad de micropasos; caracterizado porque,

el controlador aplica energía desde la fuente de energía al motor de una manera no lineal para acelerar el motor paso a paso hasta una velocidad del motor preseleccionada;

el controlador aplica energía para mantener la velocidad preseleccionada durante un primer período de tiempo predeterminado; y

ES 2 288 494 T3

el controlador retira energía del motor de una manera no lineal para decelerar el motor paso a paso hasta la posición de detención en la cual el controlador del motor no proporciona señales de accionamiento al motor una vez que el motor se para en la posición de detención durante un segundo período de tiempo predeterminado.

5 Preferentemente, el controlador mantiene un período de micropasos constante.

Ventajosamente, el controlador aplica energía desde la fuente de energía para acelerar el motor a través de un tercer paso del motor, en donde el tercer paso del motor incluye una tercera pluralidad de micropasos, en donde la segunda pluralidad de micropasos es mayor que la tercera pluralidad de micropasos.

10 Convenientemente, el controlador aplica energía desde la fuente de energía al motor en un modo de accionamiento de “una fase excitada” modificado al micropaso entre las posiciones de “una fase excitada” durante el movimiento del motor, en donde el controlador controla el motor variando el número de micropasos por paso del motor a la vez que mantiene un período de micropasos constante;

15 en donde el controlador controla el motor para acelerarse reduciendo el número de micropasos por paso del motor a la vez que mantiene un período de micropasos constante;

20 Preferentemente, el controlador retira energía del motor en un accionamiento de “una fase excitada” modificado al micropaso entre las posiciones de “una fase excitada” durante el movimiento del motor terminando en una posición de “una fase excitada” para el último paso del motor antes de que la energía sea completamente retirada, y

25 en donde, el controlador controla el motor para que se decelere aumentando el número de micropasos por paso del motor a la vez que mantiene un período de micropasos constante.

Ventajosamente, el controlador aplica energía al motor en un modo de accionamiento de paso completo una vez que el motor ha alcanzado una velocidad preseleccionada.

30 Convenientemente, en el modo de paso completo, el controlador aplica energía desde la fuente de energía al motor de tal manera que el motor se mueva con un micropaso por paso del motor durante el cual una de al menos dos fases del motor paso a paso cambia la polaridad mientras que la otra fase permanece a un valor constante, y seleccionándose una frecuencia de paso que se selecciona de tal manera que cambie la polaridad se lleva a cabo en un periodo de paso del motor con lo cual se logra un desplazamiento suave del campo del motor.

35 Preferentemente, el motor paso a paso acciona un mecanismo de bombeo para suministrar fluido medicinal a un paciente.

40 Según otro aspecto de la presente invención, se ha provisto un método de control del movimiento de un motor paso a paso que se mueve en una serie de pasos del motor, comprendiendo el método:

Controlar que el motor paso a paso se mueva a través de un primer paso de aceleración del motor en una primera pluralidad de micropasos;

45 Controlar que el motor paso a paso se mueva a través de un segundo paso de aceleración del motor en una pluralidad de micropasos, siendo el segundo paso del motor posterior al primer paso del motor, en donde la segunda pluralidad de micropasos es menor que la primera pluralidad de micropasos; caracterizándose el método por:

La aplicación de energía al motor paso a paso de una manera no lineal creciente hasta acelerar el motor a una velocidad del motor preseleccionada;

50 El mantenimiento de la velocidad preseleccionada durante un primer periodo de tiempo predeterminado, y

55 La retirada de energía del motor de una manera no lineal para decelerar el motor paso a paso desde la velocidad preseleccionada hasta la posición de detención tras el primer periodo de tiempo predeterminado, en el cual el controlador del motor no proporciona señales de accionamiento al motor una vez que se para en la posición de detención durante un segundo periodo de tiempo predeterminado;

60 En donde la frecuencia del paso se selecciona de tal manera que el cambio de polaridad se lleve a cabo en un periodo del paso del motor con lo cual se logra un desplazamiento suave del campo del motor.

Preferentemente, los dos pasos de control del movimiento del motor paso a paso incluyen el mantenimiento de un periodo constante de los micropasos.

65 Ventajosamente, el motor paso a paso tiene al menos dos fases y un imán permanente que define una posición de detención en reposo, caracterizado el método además por:

la aplicación de una corriente a los devanados creciente exponencialmente de una manera creciente exponencial para acelerar el motor paso a paso hasta una velocidad del motor preseleccionada;

el mantenimiento de la velocidad preseleccionada durante un primer periodo de tiempo predeterminado; y

el decrecimiento exponencial de la corriente de los devanados hasta decelerar el motor paso a paso desde la velocidad preseleccionada hasta la posición de detención tras el primer periodo de tiempo predeterminado, en la cual, el motor se para en la posición de detención durante un segundo periodo de tiempo predeterminado.

Convenientemente, el método incluye:

La deceleración del motor paso a paso en una serie de pasos de deceleración del motor con un primer de dichos pasos de deceleración del motor dividido en un primer número de micropasos de deceleración, y un segundo de dichos pasos de deceleración del motor es dividido en un segundo número de micropasos de deceleración;

En donde, el primer número de micropasos de deceleración es menor que el segundo número de micropasos de deceleración.

Preferentemente, el método implica el accionamiento de un mecanismo de bombeo con el motor paso a paso para suministrar fluido medicinal a un paciente.

Otros aspectos y ventajas de la invención resultarán evidentes a partir de la descripción detallada siguiente y de los dibujos que se acompañan, que ilustran a modo de ejemplo las características de la invención.

Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 es un diagrama de bloques que ilustra un motor paso a paso bifásico básico;

La Fig. 2 es un diagrama de bloques de un controlador para un motor paso a paso de acuerdo con un aspecto de la invención y la aplicación del controlador y el motor paso a paso en la infusión de fluidos medicinales a un paciente;

La Fig. 3 es un esquema del circuito de los impulsores y de los devanados del motor mostrados en la Fig. 2 de acuerdo con un aspecto de la invención;

La Fig. 4 presenta formas de onda de un impulsor de pasos bifásico de frecuencia constante para accionar un motor paso a paso bifásico;

La Fig. 5 es un gráfico de la aplicación no lineal de energía a un motor hasta alcanzar una corriente de pico del devanado, en este caso, se muestra una aplicación exponencial de energía y se compara con una aplicación lineal de energía;

La Fig. 6 es un gráfico de la aceleración no lineal de un motor en respuesta a la aplicación exponencial de energía mostrada en la Fig. 5, en este caso, se muestra una aceleración exponencial y se compara con una aceleración lineal;

La Fig. 7 incluye gráficos que ilustran el empleo de modos de impulsión múltiples en el control de la aplicación de energía a un motor paso a paso;

La Fig. 8 ilustra con mayor detalle, ciertas formas de onda de la Fig. 7 de acuerdo con un aspecto de la invención;

La Fig. 9 incluye diagramas vectoriales de los modos de impulsión de la Fig. 8;

La Fig. 10 ilustra los efectos de la inductancia del motor sobre la corriente del devanado a alta velocidad que da lugar a un desplazamiento suave del campo magnético;

La Fig. 11A ilustra una de las formas de onda de la Fig. 10 con mayor detalle y en la Fig. 11B, se muestra un diagrama vectorial; y

La Fig. 12 es un diagrama de flujo del control de un motor paso a paso de acuerdo con aspectos de la invención.

Descripción detallada de las realizaciones preferentes

En la descripción siguiente, se emplearán números de referencia idénticos para referirse a elementos iguales o correspondientes en las distintas figuras de los dibujos. La discusión siguiente se basará en el ejemplo ilustrativo de un motor paso a paso bifásico 10 según se muestra en la Fig. 1. El motor paso a paso 10 incluye un rotor 12 que tiene un imán permanente y que es rotativo alrededor de un punto de giro 13, y dos pares de devanados estatóricos 14 y 16. Cada devanado estatórico representa una fase del motor paso a paso. A efectos de discusión, el devanado 14 representará la fase A, el devanado 16 representará la fase B. El rotor 12 se mueve en pasos de acuerdo con la magnitud y polaridad de la corriente aplicada a los devanados respectivos 14 y 16. Si se hace pasar una corriente a través de uno de los devanados, los polos del estator norte y sur resultantes del devanado excitado atraerán a los polos sur y norte del rotor 12, respectivamente.

Para controlar la rotación del motor en un motor paso a paso existe cierto número de modos de impulsión. En un modo de impulsión de “una fase excitada”, un devanado está totalmente excitado mientras que el otro devanado está desconectado. Cambiando el flujo de la corriente desde el primer devanado 14 hasta el otro devanado 16, el campo del estator gira noventa grados. En este modo se requiere menos energía. Esto da como resultado un giro de un paso de noventa grados del rotor. Según se conoce en el estado de la técnica, utilizando diferentes configuraciones de rotor y estator, pueden obtenerse pasos de diferentes grados. Además, si las corrientes bifásicas son desiguales, el rotor tenderá a desplazarse hasta una posición hacia el polo más fuerte. El modo de impulsión del “micropaso” utiliza este efecto y subdivide el paso básico del motor proporcionando la corriente aplicada a los dos devanados. Por ejemplo, excitando alternativamente un devanado y después dos, el rotor se mueve a través de un desplazamiento angular más pequeño y el número de pasos por revolución se duplica. A mayor resolución mayor suavidad pero ocasiona cierta pérdida de par. Este modo normalmente es conocido como modo de impulsión de “paso medio”.

En el caso de un motor paso a paso bifásico accionado en el modo de impulsión de “paso completo”, los dos devanados o fases se mantienen excitados, y la corriente es invertida alternativamente en cada devanado en pasos alternos. Bajo estas condiciones puede producirse un par mayor debido a que todos los polos del estator están influyendo en el motor. Sus campos individuales se suman para producir un mayor campo magnético. No obstante, en este modo de impulsión se consume más energía porque ambos devanados están alimentados constantemente.

Cuando no hay corriente fluyendo a través de los devanados, el rotor intentará reducir al mínimo la reluctancia, o resistencia magnética, de su imán permanente auto alineándose con los polos de uno de los devanados estáticos. El par que mantiene el motor en esa posición se identifica como el par de detención.

La Fig. 2 muestra un procesador 20 que proporciona señales para accionar el motor paso a paso 10. En esta realización, el procesador 20 u otro sistema digital apropiado obtiene datos de las tablas de consulta almacenadas en una memoria 22 de manera que proporcione señales que definen la forma de onda para accionar el motor paso a paso 10 de un modo particular. Las tablas de la memoria 22 proporcionan valores de las polaridades y magnitudes de las corrientes a aplicar a los devanados del motor 10. El procesador 20 alimenta las señales de polaridad y magnitud a los impulsores 26 para suministrar las corrientes apropiadas a los devanados del motor paso a paso 10. Los valores son sometidos a un convertidor D/A 28 para convertirlos en señales analógicas antes de ser enviadas a los impulsores 26.

Según se muestra en la Fig. 3, los impulsores 26 de los devanados 14 y 16 y el motor paso a paso bifásico 10 comprenden un par de puentes H 30 controlados por el procesador. Las magnitudes de las salidas de corriente de los puentes H son controladas por interruptores 32. Los interruptores 32 actúan para conectar y desconectar el accionamiento del motor según se requiera para reducir al mínimo la diferencia entre las señales de sentido y las señales de magnitud en las entradas del comparador 33. Las señales de magnitud se generan a través de los convertidores D/A 28 (Fig. 2). El procesador 20 conmuta entre las tablas separadas almacenadas en la memoria 22 que contienen los datos específicos para proporcionar la forma de onda apropiada para accionar el motor paso a paso. La memoria 22 en una realización contenía tablas de consulta múltiples, cada una de las cuales estaba disponible en el procesador para su uso durante el funcionamiento del motor a través de cada grupo de pasos. Así, el procesador es capaz de cambiar a las formas de onda del accionamiento del motor “en marcha” y así lo hace automáticamente según se describe aquí. El índice de tablas de consulta se cambia durante el giro del motor de manera que el procesador tenga siempre las formas de onda apropiadas disponibles para controlar el motor. Por ejemplo, una tabla de consulta fue almacenada para las formas de onda de la aceleración y otra fue almacenada para la forma de onda de paso completo.

La Fig. 3 muestra además corriente de impulsión mediante flechas que tienen los vástagos con línea de trazos y corrientes de caída mediante flechas que tiene los vástagos 31 del devanado de la fase A con línea continua. Los interruptores 32 conectan los transistores A1 y A2 dependiendo del resultado de la comparación de la señal de magnitud con respecto a la señal de sentido mediante el comparador 33.

En motores paso a paso 10 empleados con bombas de infusiones medicinales, tales como la bomba peristáltica lineal 34 mostrada en la Fig. 2 que actúa sobre un tubo 36 conectado entre un depósito de fluido 38 y un paciente 40, en la Fig. 4 se muestra un modo de accionamiento de paso completo a una frecuencia del paso constante que puede no ser el modo más eficaz de funcionamiento del motor 10 para reducir el ruido y el consumo de energía.

Según se ha discutido con anterioridad, el periodo del paso resultante puede tener una duración excesiva en la cual la mayor parte del movimiento del motor tiene lugar cerca del comienzo del periodo con derroche de energía puesto que el calor en la resistencia de los devanados 14 y 16 durante el resto del periodo da como resultado un ruido inaceptable.

Haciendo referencia ahora a la Fig. 5, se muestra una realización en la cual la energía se aplica al motor de una manera no lineal para iniciar el movimiento del motor. La corriente del devanado 42 se aplica de una manera exponencial para hacer que el motor alcance su par máximo a una velocidad más rápida que si se empleara un incremento lineal de la corriente del devanado 44. Esta aproximación da lugar a una transición suave hasta una salida de par alta con un valor inicial bajo de incremento del par, generando de ese modo menos ruido y consumiendo menos energía que si se empleara una aproximación lineal. Según se muestra en la Fig. 5, la corriente de pico del devanado 46 se alcanza más rápidamente con la aplicación exponencial de energía al motor que con la aplicación lineal. En esta realización, la corriente de pico del devanado se aplica dentro de un paso del motor. Aunque no se muestra, se emplea una

aproximación igual en el punto de deceleración del motor. En esta realización, la energía se retira de una manera de caída no lineal, una caída exponencial.

La Fig. 6 presenta un gráfico del movimiento del motor como resultado de la aplicación exponencial de la energía mostrada en la Fig. 5. El motor alcanza más rápidamente la velocidad angular máxima 43 a través de la aceleración exponencial 45 que a través de una aceleración lineal 47. Esto dará lugar a que el motor pase a través de cualquier frecuencia de resonancia que pueda existir más rápidamente con menos ruido resultante que si se empleara la aproximación lineal. En esta realización, el motor ha alcanzado su velocidad máxima dentro de cuatro pasos del motor. Adicionalmente, se requiere menos energía para obtener la velocidad deseada cuando se acelera exponencialmente.

Haciendo referencia ahora a la Fig. 7, se muestran dos imágenes de tiempo 48 y 50 de corrientes de fase A 51 y B 53 en el caso de un accionamiento por motor paso a paso. En cada imagen de tiempo, el motor se mueve a través de un grupo de pasos predeterminados 52, 54 y 56 y luego se detiene durante el resto de la imagen de tiempo 58. Por lo tanto, cada imagen de tiempo incluye períodos de aceleración 52, frecuencia máxima del paso 54, deceleración 56, desconexión de la alimentación de energía o parada 58 (aunque solamente se muestran números en una imagen). En el intervalo sin alimentación de energía de esta realización, el rotor se mantiene en posición mediante el par de detención de su campo magnético permanente. Se ha averiguado que, para la misma frecuencia media del paso, accionando el motor de la manera mostrada; es decir, aceleración no lineal hasta una frecuencia del paso máxima seleccionada, la deceleración mediante una caída de la frecuencia del paso no lineal, y la desconexión de la energía, dará lugar al empleo de menos potencia media para controlar el motor que el accionamiento a frecuencia constante mostrado en la Fig. 4.

La Fig. 8 muestra con mayor detalle, dos formas de onda 51 y 53 de la corriente del devanado del grupo de pasos en una sola imagen de tiempo de la Fig. 7. La Fig. 8 se considerará con el diagrama vectorial de la Fig. 9 en la discusión siguiente. La Fig. 9 contiene gráficos que muestran secuencias vectoriales de aceleración-deceleración y de velocidad constante del motor paso a paso bifásico 10 accionado mediante la forma de onda mostrada en la Fig. 8. Los gráficos ilustran las tres porciones de la forma de onda, y sus correspondientes pasos y micropasos del motor. Los vectores indican la dirección y magnitud del campo magnético del motor que actúan sobre el rotor 12 en cada micropaso. La porción de aceleración ilustra la frecuencia del paso que aumenta rápidamente (es decir, que los micropasos decrecen durante pasos sucesivos) a medida que el rotor aumenta la velocidad mediante el empleo de un modo de “una fase excitada” modificado. La porción de alta velocidad mantenida por la forma de onda de onda-completa mantiene la velocidad constante del motor con posicionamiento preciso. La porción de deceleración ilustra la velocidad del paso rápidamente decreciente a medida que el motor reduce la velocidad de nuevo con un modo de “una fase excitada” modificado. En el micropaso nº 40, el extremo de la porción de deceleración, el rotor se halla cerca de su posición de detención antes de que la corriente de los devanados del motor sea interrumpida. El rotor se para en una posición de “una fase excitada” antes de que el devanado sea desconectado. Luego, el rotor se mantiene en posición mediante el par de detención producido por el imán permanente del rotor hasta que el grupo siguiente de pasos se aplique al motor. Esto da lugar a un posicionamiento preciso del motor sin el uso de corrientes para mantener la posición.

Durante la aceleración y deceleración, el motor es accionado con una forma de onda de “una fase excitada” modificada. Esto corresponde a los pasos 1-4 y 16-18, en donde cada paso comienza y termina con el motor en una posición de detención donde el devanado o fase excitado puede ser conectado o desconectado sin ningún par motor resultante. En la realización actual mostrada, se emplea un modo de accionamiento de “una fase excitada” modificado que da como resultado una aceleración más suave mediante el motor. El campo magnético no está precisamente en la posición de detención sino que se halla un tanto retardado en el extremo de aceleración en los pasos del motor 2 y 3 para preparar el rotor para la transición al accionamiento a alta velocidad. De manera similar, el campo se halla ligeramente retardado en el extremo de cada paso de deceleración para preparar el rotor para que se mueva por inercia hasta parar con precisión en una posición de detención en el momento en que se retire la corriente del devanado. La cantidad en la que el segundo devanado es excitado para realizar esta modificación depende de los parámetros físicos del motor. Por ejemplo, el momento de inercia del rotor, las cargas de fricción (estáticas, gravitacionales, y viscosas, la salida del par del motor, la resistencia del campo de detención y la resistencia e inductancia de los devanados del motor, todos pueden afectar al ruido del motor y pueden ser considerados a la hora de seleccionar la modificación de la forma de onda de “una fase excitada”.

Los modos de accionamiento de “una fase excitada” son modificados en el micropaso entre las posiciones de “una fase excitada” del rotor durante el movimiento del motor. El par puede ser aumentado y puede proporcionarse una secuencia de desplazamiento suave del vector de campo mediante la excitación temporal de más de un devanado durante cada paso. Los micropasos se emplean en la forma de onda de “una fase excitada” modificada para disminuir el desplazamiento angular y el ruido y proporcionar una aceleración más suave del motor. Una secuencia de micropasos preferente genera una magnitud de corriente exponencialmente creciente en todo el paso de aceleración inicial según se muestra en la Fig. 5.

Según se ha mencionado anteriormente, el motor es acelerado preferiblemente al comienzo de la imagen de tiempo a una frecuencia del paso exponencialmente creciente hasta que la frecuencia máxima del paso del motor se alcance en un tiempo mínimo. Una frecuencia del paso exponencialmente creciente permite a la frecuencia del paso moverse más allá de las frecuencias de resonancia del motor más rápidamente, reduciendo así el ruido acústico, tras arrancar

el motor desde la posición estacionaria con una aceleración angular inicial baja. La aceleración angular inicial baja permite el uso de un par motor inicial bajo que puede ser expresado como;

$$\tau = J\alpha$$

en donde τ es el par motor, α es la aceleración angular, y J es el movimiento de inercia de la carga.

El ruido se reduce arrancando el motor desde la posición estacionaria con una frecuencia de cambio del par menor que la que tendría lugar con un incremento lineal de la magnitud del vector de corriente del motor. La magnitud del vector de corriente final de un paso del motor tiene que ser suficiente para generar la “reserva de par” requerida que asegure la puesta en movimiento del motor con una carga mecánica en el peor de los casos. Un perfil de corriente exponencial creciente permite que este valor final sea alcanzado en un periodo de tiempo dado, es decir, un paso del motor, con una frecuencia inicial menor de cambio de corriente y de par.

El par inicial bajo reduce el consumo de energía así como el ruido. Puesto que el par es una función lineal de la corriente del devanado para el funcionamiento por debajo de la saturación, solamente se requiere una corriente del devanado inicial baja, que reduce el consumo de energía. Los niveles de corriente en los pasos de aceleración inicial tienen el efecto más significativo sobre el consumo de energía, dado que estos pasos son los de más larga duración del grupo de pasos. Todos los pasos contienen micropasos de período constante y los pasos de aceleración inicial contienen el mayor número de micropasos. El uso de una aceleración exponencialmente creciente hace que el motor alcance su velocidad máxima deseada rápidamente. Las tablas sobre las formas de onda de la aceleración almacenadas en la memoria 22 pueden ser programadas para aumentar la corriente del devanado a medida que progresa la aceleración con objeto de suministrar el nivel de par creciente requerido para mantener una frecuencia de aceleración creciente no lineal. Las tablas almacenadas en la memoria contienen los valores de los micropasos de las secuencias de pasos de la forma de onda para accionar el motor paso a paso.

Además, el requisito de anchura de banda del controlador puede reducirse al mínimo empleando micropasos que tengan un período constante. La frecuencia del paso del motor en pasos subsiguientes durante la aceleración puede aumentar reduciendo el número de micropasos por paso del motor y manteniendo un periodo de micropaso constante, más que reduciendo el período de micropaso y manteniendo un número constante de micropasos por paso. El período de micropaso es el intervalo más corto que tiene que resolverse debido a que el micropaso determina la anchura de banda requerida por el controlador. Normalmente, la aceleración se efectúa reduciendo este período para lograr una frecuencia mayor de micropasos por tiempo unitario. No obstante, aumentar la frecuencia del micropaso, requiere un anchura de banda del controlador aumentada. Manteniendo el período del micropaso constante durante la aceleración se mantiene el requerimiento de anchura de banda del controlador constante e igual al requerimiento en el caso de la frecuencia del paso inicial más baja. Dado que existe un micropaso por paso del motor a la frecuencia máxima, el período del paso del motor a la frecuencia máxima es igual al período del micropaso a la frecuencia inicial más baja según se muestra en la Fig. 8 donde los micropasos se muestran sobre los ejes horizontales y los pasos del motor se muestran entre los dos gráficos con flechas rodeadas del número del paso del motor. La reducción del número de micropasos por paso del motor a medida que el motor se acelera es aceptable, debido a que a frecuencias del paso más altas la frecuencia de cambio de par se suaviza mediante la inductancia del motor, y el motor tiende a ser menos sensible a los cambios de par a altas velocidades.

Una vez que se ha alcanzado la velocidad deseada del motor paso a paso 10, se emplea una forma de onda de paso completo modificada para la porción de frecuencia constante máxima del grupo de pasos, para accionar el motor paso a paso básico 10. En el caso de motores paso a paso que tengan más de dos fases puede ser deseable una forma de onda diferente. Según se muestra en la Fig. 8, en cada paso de la forma de onda de paso completo 51 y 53, modificada la corriente de un devanado cambia suavemente la polaridad en tanto que en el otro permanece aproximadamente constante. Esto se muestra con mayor detalle en las Figs. 10, 11A y 11B con corriente 60 de fase A y corriente 62 de fase B. La frecuencia a la que tiene lugar el cambio de polaridad está en función de la inductancia del motor y de la tensión de conformidad del motor, según se expresa mediante:

$$\frac{dI_{\text{devanado}}}{dt} = \frac{V_{\text{confirmación}}}{L}$$

Dado que $V_{\text{confirmación}}$ del controlador y la inductancia del motor, L , son constantes, la corriente en el devanado que sufre una inversión de polaridad cambia aproximadamente como una función lineal de tiempo hasta alcanzar su valor final al término del periodo del paso. Mediante la resistencia del devanado del motor puede introducirse cierta falta de linealidad. El desplazamiento del vector de campo real es una función analógica suave determinada por el decaimiento inductivo de los devanados del motor según se muestra en las Figs. 10, 11A, y 11B. El otro devanado se mantiene con una corriente constante 66 igual o menor que el valor final del decaimiento. El nivel de corriente constante 66 se selecciona para reducir al mínimo el consumo de energía a la vez que proporciona el par mínimo requerido a alta velocidad para la carga especificada.

Cuando el motor es accionado a su velocidad máxima, la cual se elige que sea muy por encima de su resonancia, se reduce el ruido acústico asociado normalmente con el accionamiento de paso completo. El ruido acústico, y el consumo

de energía, pueden reducirse más optimizando el nivel de corriente constante según se ha descrito con anterioridad a un valor que reduce al mínimo el consumo de energía a la vez que proporciona el par mínimo requerido a alta velocidad para la carga especificada. Esto se obtiene en el modo de accionamiento de paso completo “modificado”. Dado que un componente del vector de corriente va cambiando suavemente desde el valor inicial hasta el final durante cada paso a alta velocidad, el desplazamiento del vector de campo resultante (Fig. 11B) es suave y se produce menos ruido. No se requiere aumento de la anchura de banda del controlador por encima de la del accionamiento a la frecuencia inicial más baja. Como puede verse en la Fig. 8, cada paso de la forma de onda de paso completo 51 y 53 tiene un periodo que iguala preferentemente al período de un micropaso.

La Fig. 11A muestra un mayor detalle de parte de una forma de onda de la Fig. 10, con incrementos de tiempo arbitrarios a lo largo del eje horizontal. La corriente 60 de la fase A puede verse cambiando suavemente polaridad dentro del paso del motor (ocho incrementos de tiempo arbitrarios) con niveles de ruido reducidos resultantes. Estas unidades de tiempo arbitrarias se emplean de nuevo en la Fig. 11B para mostrar el desplazamiento del vector de campo dentro de un paso del motor. Se produce la rotación suave del vector sin pasos discretos que conduzcan a niveles de ruido más altos. En lugar de permitir que la corriente alcance el valor de decaimiento final mostrado en la Fig. 10, el decaimiento de la corriente se limita al nivel de corriente constante 66 de manera que el mismo tome un paso del motor para la inversión de polaridad.

Durante la deceleración, el motor es accionado de nuevo con una forma de onda de “una fase excitada” modificada para micropasos entre cada posición de “una fase excitada” que comienza y termina con el motor en una posición de detención, donde el devanado excitado o fase en el paso final del grupo puede conectarse o desconectarse sin par motor resultante alguno. Los modos de accionamiento por micropasos son interespaciados con la posiciones de accionamiento de “una fase excitada” para aumentar el par y para proporcionar una secuencia de desplazamiento suave del vector de campo. Para mantener el motor en la posición de detención estacionaria final para el grupo de pasos no se requiere energía. El imán permanente del rotor 12 mantiene el motor paso a paso 10 en la posición de detención. Así, la alimentación de potencia puede desconectarse entre grupos de pasos para reducir el consumo de energía medio del motor paso a paso 10 durante una secuencia temporal.

A medida que avanza el sistema a través de periodos de aceleración, alta velocidad, y deceleración, el procesador 20 conmuta los índices de las tablas para avanzar a través de las tablas separadas que contienen formas de onda de la aceleración, alta velocidad, y deceleración. El número de pasos en la secuencia temporal, el tiempo total de la secuencia temporal, y la longitud del intervalo no alimentado son controlados por el procesador 20 para determinar con precisión la frecuencia media del paso del motor. Ciertos dispositivos médicos, como bombas de fluidos, pueden emplear rotación en un grado medio seleccionado mediante la agrupación de pasos para dispensar infusiones en dosis adecuadas. Por ejemplo, ver Solicitud de Patente US, número de serie 08/305,677, presentada el 12 de Septiembre de 1994 de Butterfield y otros, titulada Sistema para Aumentar la Uniformidad del Flujo.

Dado que la frecuencia media del paso del motor viene determinada por el número de pasos en el grupo de pasos y el intervalo no alimentado entre grupos, puede emplearse la misma frecuencia máxima del paso, y perfil de aceleración-deceleración para cualquier frecuencia media del paso deseada, y puede lograrse un rendimiento óptimo a todas las frecuencias medias del paso seleccionando óptimamente una frecuencia alta del paso. Puede emplearse la misma tensión de conformidad para el motor paso a paso a todas las frecuencias medias debido a que para el motor se emplea la misma frecuencia máxima del paso. Solamente necesitan ser cambiados el número de pasos en el grupo de pasos y los intervalos no alimentados para ajustar la frecuencia media deseada para el motor. La tensión de conformidad es la tensión máxima requerida para mantener un valor específico de corriente a lo largo de una gama de resistencias de carga. El algoritmo de accionamiento y el hardware requeridos se simplifican a partir de los requeridos para optimizar el rendimiento de un motor que emplea un accionamiento del paso a frecuencia máxima debido a que se emplea la misma frecuencia constante del paso para lograr cualquier frecuencia media deseada. Se emplea la misma frecuencia máxima del paso para la forma de onda, seleccionada para un rendimiento óptimo del motor, independientemente de la frecuencia media del paso deseada. Cuando se emplea un accionamiento del paso a frecuencia constante, tiene que emplearse una frecuencia constante del paso más baja y menos eficaz con objeto de alcanzar la frecuencia media del paso deseada.

Cuando el motor paso a paso 10, es accionado por la combinación de los modos de accionamiento descritos con anterioridad tiene un consumo medio de energía más bajo que uno accionado mediante una señal de accionamiento a frecuencia constante del paso. Se emplean los modos de accionamiento de “una fase excitada” de bajo consumo de energía y no se consume energía durante el tiempo que separa los grupos de pasos. El rendimiento del motor se optimiza seleccionando una frecuencia máxima alta del paso cuyo periodo se adapte al tiempo de decaimiento de la corriente del devanado requerido determinado por la inductancia del motor y la tensión de conformidad para conseguir la forma de onda mostrada en las Figs. 10, 11A, y 11B.

La Fig. 12 es un diagrama de flujo que ilustra el funcionamiento de un sistema de control en lazo abierto de acuerdo con principios de la invención. Cuando va a comenzar el movimiento del motor 80, el motor se acelera como resultado de la aplicación exponencial de corriente a los devanados 82. Se emplea un modo de accionamiento de “una fase excitada” modificado del micropaso entre las posiciones de “un paso conectado” con decrecimiento de los números de micropasos durante la aceleración 84. Cuando el motor ha alcanzado una velocidad preseleccionada 86, se emplea un accionamiento de paso completo modificado 88. Tras haber rotado el número de pasos requerido en el modo de paso completo y necesitando ahora decelerarse 90, se emplea un modo de “una fase excitada” modificado del

ES 2 288 494 T3

micropaso entre las posiciones de “una fase excitada” con números crecientes de micropasos para la deceleración 92. La deceleración se efectúa a través de una retirada exponencial de energía del motor. Cuando el motor se halla en una posición de detención 94, se desconecta la potencia 96.

5 Si bien la invención ha sido ilustrada y descrita en términos de ciertas realizaciones preferentes, está claro que la invención puede ser sometida a numerosas modificaciones y adaptaciones dentro de la capacidad de los expertos en la materia. Así, se sobreentenderá que pueden realizarse diversos cambios de forma, detalle y uso de la presente invención sin salirse del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de control para controlar el movimiento de un motor paso a paso (10), que comprende:

una fuente de energía;

un controlador (20) que aplica energía desde la fuente de energía para acelerar el motor (10) a través deL primer y segundo pasos del motor, en el cual, el primer paso del motor incluye una primera pluralidad de micropasos, y el segundo paso del motor incluye una segunda pluralidad de micropasos, en el cual, la primera pluralidad de micropasos es mayor que la segunda pluralidad de micropasos; **caracterizado** porque

el controlador (20) aplica energía desde la fuente de energía al motor (10) de una manera no lineal para acelerar el motor paso a paso (10) hasta una velocidad del motor preseleccionada;

el controlador (20) aplica energía para mantener la velocidad preseleccionada durante un primer periodo de tiempo predeterminado; y

el controlador (20) retira energía del motor de una manera no lineal para decelerar el motor paso a paso (10) hasta la posición de detención en la cual, el controlador (20) del motor no proporciona señales de accionamiento al motor (10) una vez que el motor (10) se para en la posición de detención durante un segundo periodo de tiempo predeterminado.

2. El sistema de control según cualquier reivindicación precedente **caracterizado** además porque, el controlador (20) mantiene un periodo del micropaso constante.

3. El sistema de control según cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2 **caracterizado** además porque, el controlador (20) aplica energía desde la fuente de energía para acelerar al motor (10) a través de un tercer paso del motor, en el cual, el tercer paso del motor incluye una tercera pluralidad de micropasos, en donde, la segunda pluralidad de micropasos es mayor que la tercera pluralidad de micropasos.

4. Un sistema de control según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 **caracterizado** además porque, el controlador (20) aplica energía desde la fuente de energía al motor (10) en un modo de accionamiento de “una fase excitada” modificado al micropaso entre las posiciones de “una fase excitada” durante el movimiento del motor (10), en donde, el controlador (20) controla el motor (10) variando el número de micropasos por paso del motor a la vez que mantiene un periodo del micropaso constante;

en el cual, el controlador (20) controla el motor para acelerar disminuyendo el número de micropasos por paso del motor a la vez que mantiene un período del micropaso constante.

5. El sistema de control según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 **caracterizado** además porque, el controlador (20) retira energía del motor (10) en un modo de accionamiento de “una fase excitada” modificado del micropaso entre las posiciones de “una fase excitada” durante el movimiento del motor (10) terminando en una posición de “una fase excitada” durante el último paso del motor (10) antes de que la energía sea completamente retirada, y

en donde, el controlador (20) controla el motor (10) para decelerarlo aumentando el número de micropasos por paso del motor a la vez que mantiene un período del micropaso constante.

6. El sistema de control según cualquier reivindicación precedente **caracterizado** además porque, el controlador (20) aplica energía al motor (10) en un modo de accionamiento de paso completo una vez que el motor (10) ha alcanzado una velocidad preseleccionada.

7. El sistema de control según la reivindicación 6 **caracterizado** además porque, cuando se halla en el modo de paso completo, el controlador (20) aplica energía desde la fuente de energía al motor (10) de manera que el motor (10) se mueva con un micropaso por paso del motor durante el cual una de al menos dos fases del motor paso a paso cambia la polaridad a la vez que la otra fase permanece a un valor constante, y siendo seleccionada la frecuencia del paso de tal manera que el cambio de polaridad se lleve a cabo en un período del paso del motor por lo cual se consigue un desplazamiento suave del campo del motor.

8. El sistema de control según cualquier reivindicación precedente **caracterizado** además porque, el motor paso a paso (10) acciona un mecanismo de bombeo (34) para suministrar fluidos medicinales a un paciente.

9. Un método para controlar el movimiento de un motor paso a paso (10) que se mueve en una serie de pasos del motor, comprendiendo el método:

controlar que el motor paso a paso (10) se mueva a través de un primer paso de aceleración del motor en una primera pluralidad de micropasos;

ES 2 288 494 T3

controlar que el motor paso a paso (10) se mueva través de un segundo paso de aceleración del motor en una segunda pluralidad de micropasos, siendo el segundo paso del motor subsiguiente al primer paso del motor, en donde, la segunda pluralidad de micropasos es menor que la primera pluralidad de micropasos; **caracterizándose** el método por:

5 aplicar energía al motor paso a paso (10) de una manera no lineal creciente para acelerar el motor hasta una velocidad del motor preseleccionada;

10 mantener la velocidad preseleccionada durante un primer periodo de tiempo predeterminado; y

10 retirar energía del motor paso a paso de una manera no lineal para decelerar el motor paso a paso (10) desde la velocidad preseleccionada hasta la posición de detención después del primer periodo de tiempo predeterminado, en donde el controlador (20) del motor no proporciona señales de accionamiento al motor una vez que el motor se para en la posición de detención durante un segundo periodo de tiempo predeterminado;

15 en donde, la frecuencia del paso se selecciona de tal manera que el cambio de polaridad se lleve a cabo en un período del paso del motor por lo cual se consigue un desplazamiento suave del campo del motor.

20 10. El método según la reivindicación 9 en el cual, ambos pasos para controlar que el motor paso a paso (10) se mueva incluyen el mantenimiento de un período constante entre los micropasos.

25 11. El método según la reivindicación 9 o la reivindicación 10, en el cual el motor paso a paso (10) tiene al menos dos fases y un imán permanente que define una posición de detención en reposo, **caracterizado** además el método por:

30 aplicar una corriente del devanado exponencialmente creciente de una manera creciente exponencialmente para acelerar al motor paso a paso (10) hasta una velocidad del motor preseleccionada;

30 mantener la velocidad preseleccionada durante un primer periodo de tiempo predeterminado, y

30 disminuir exponencialmente la corriente del devanado para decelerar el motor paso a paso (10) desde la velocidad preseleccionada hasta la posición de detención después del primer periodo de tiempo predeterminado, en donde el motor (10) se para en la posición de detención durante un segundo periodo de tiempo predeterminado.

35 12. El método según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11 **caracterizado** además por:

40 Decelerar el motor paso a paso (10) en una serie de pasos de deceleración del motor con un primer de dichos pasos de deceleración del motor dividido en un primer número de micropasos de deceleración, y un segundo de dichos pasos de deceleración del motor dividido en un segundo número de micropasos de deceleración;

40 En donde el primer número de micropasos de deceleración es menor que el segundo número de micropasos de deceleración.

45 13. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes 9 a 12 **caracterizado** además por:

45 accionar un mecanismo de bombeo (34) con el motor paso a paso (10) para suministrar fluido medicinal a un paciente.

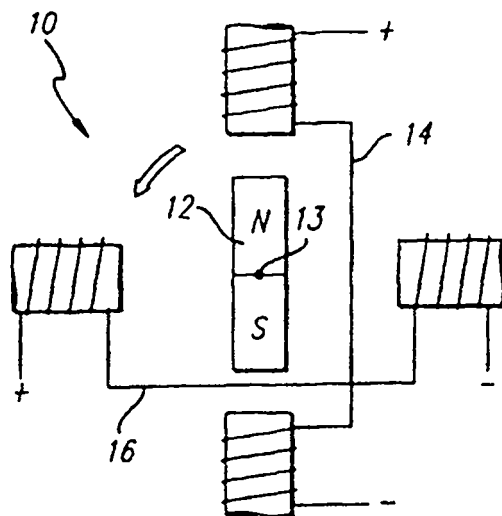


FIG. 1

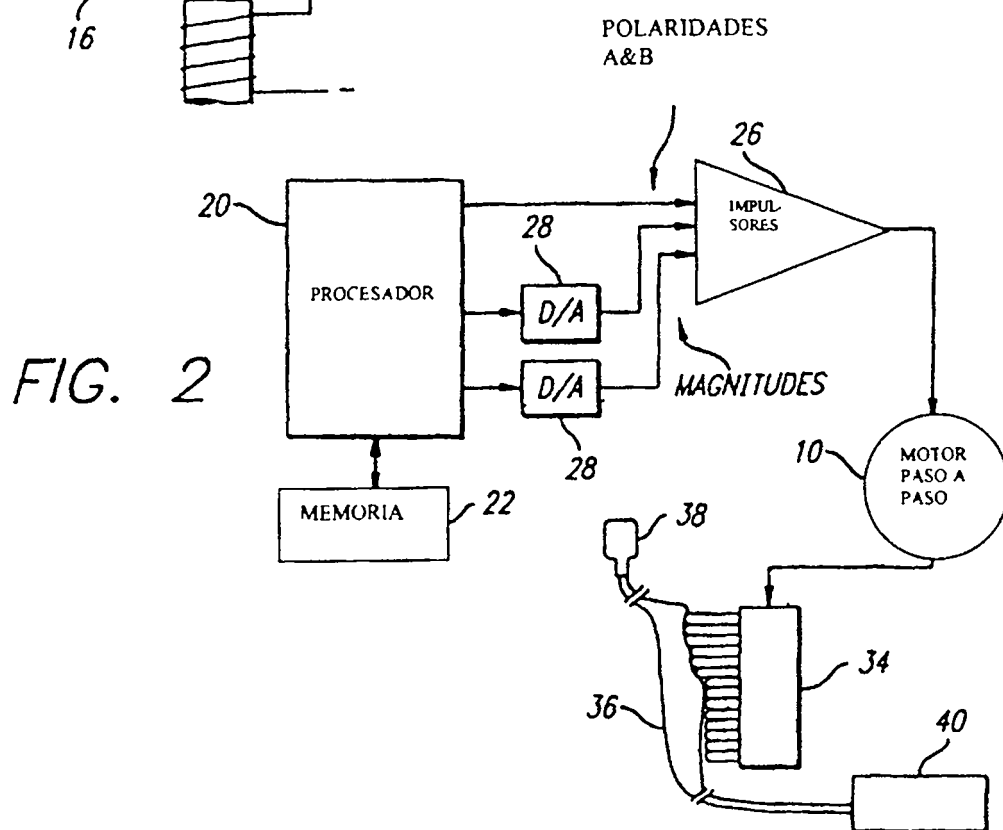


FIG. 2

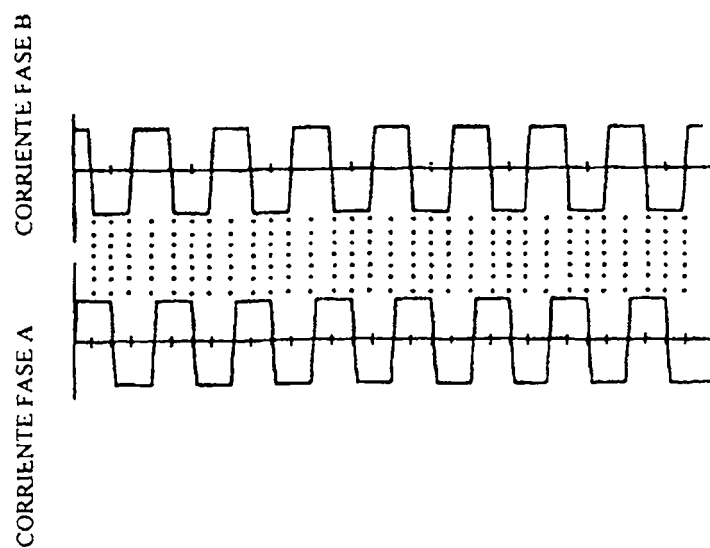


FIG. 4

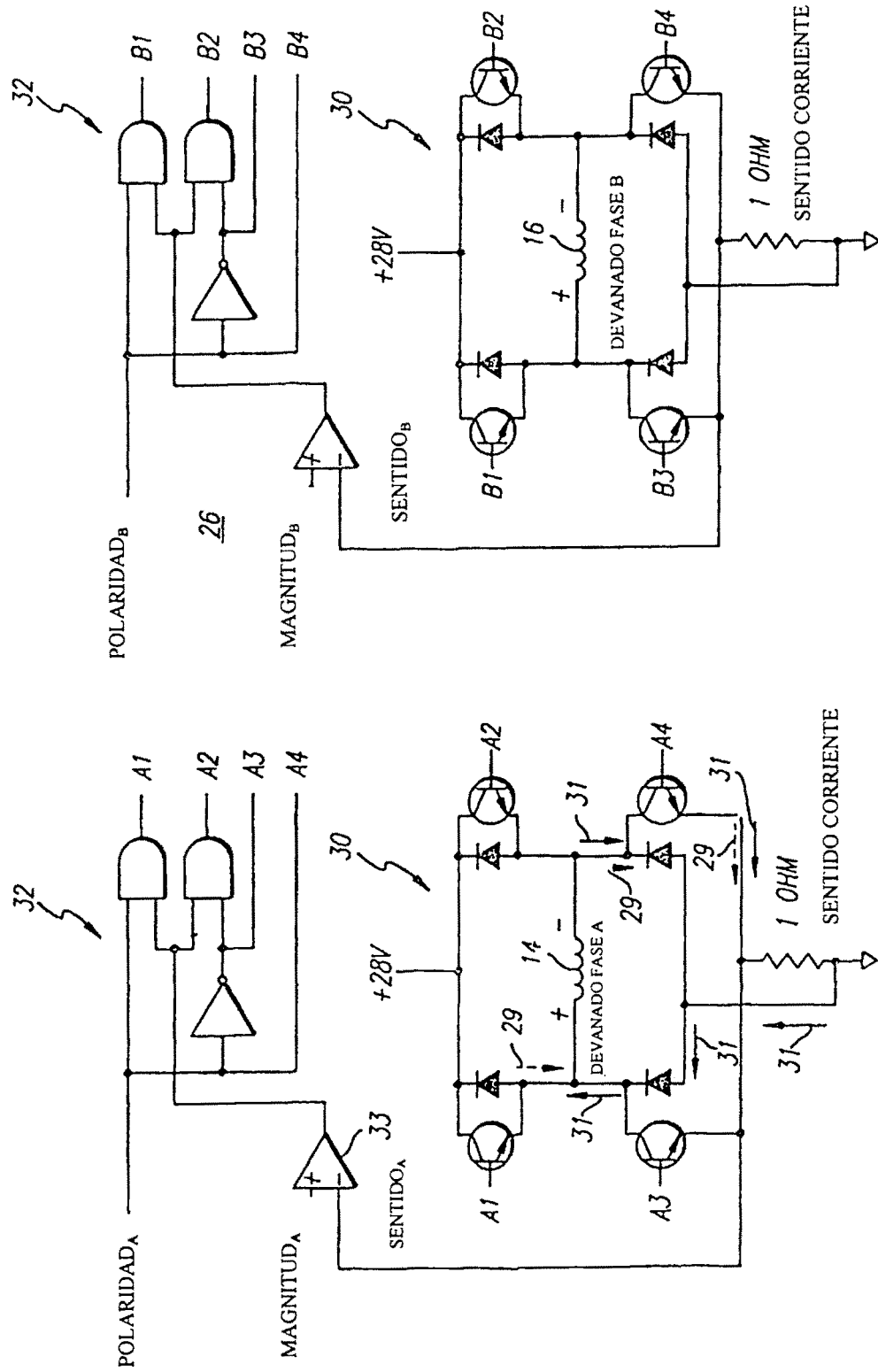
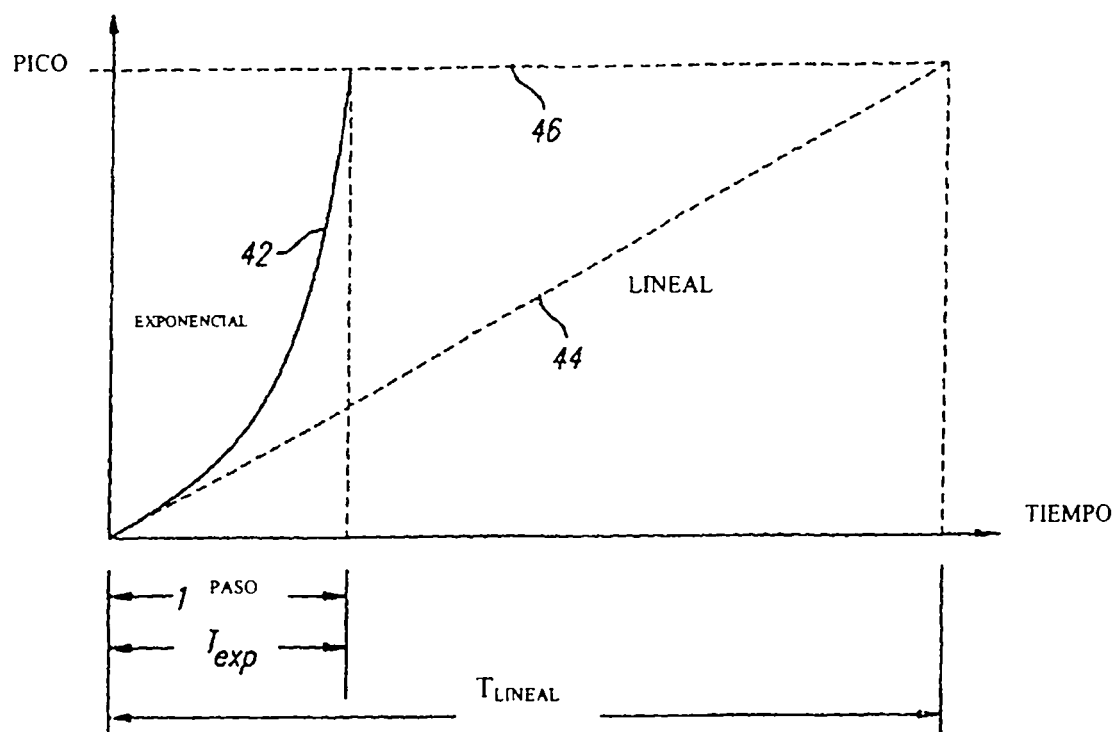


FIG. 3

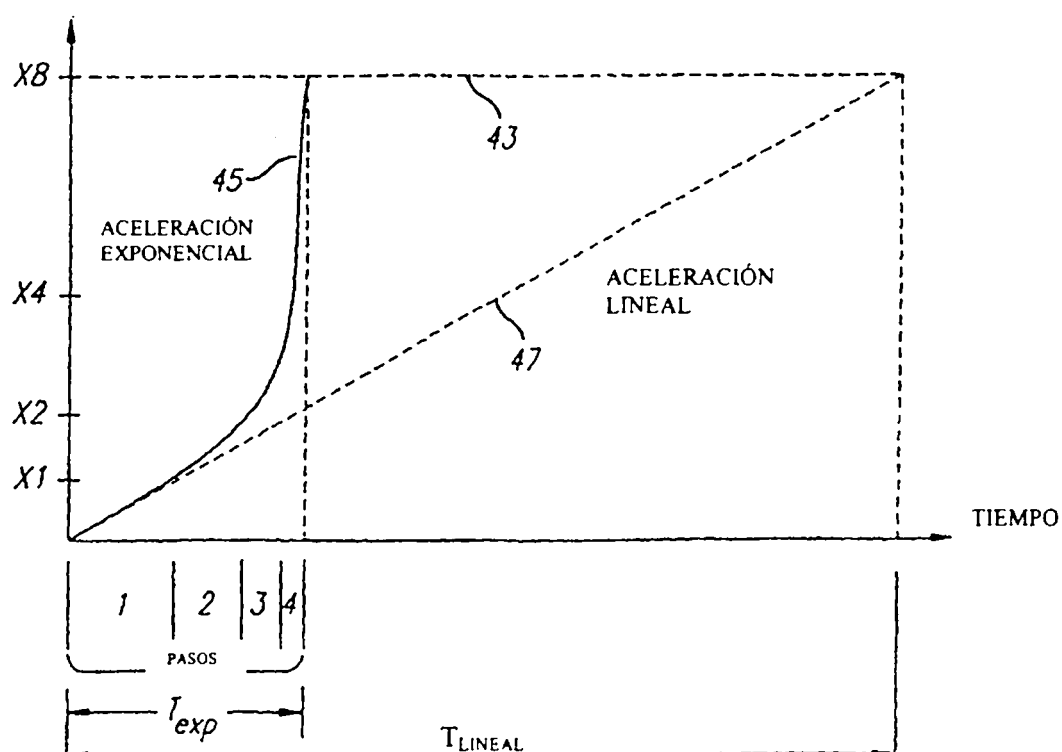
MAGNITUD
CORRIENTE
DEVANADO

FIG. 5



VELOCIDAD
ANGULAR

FIG. 6



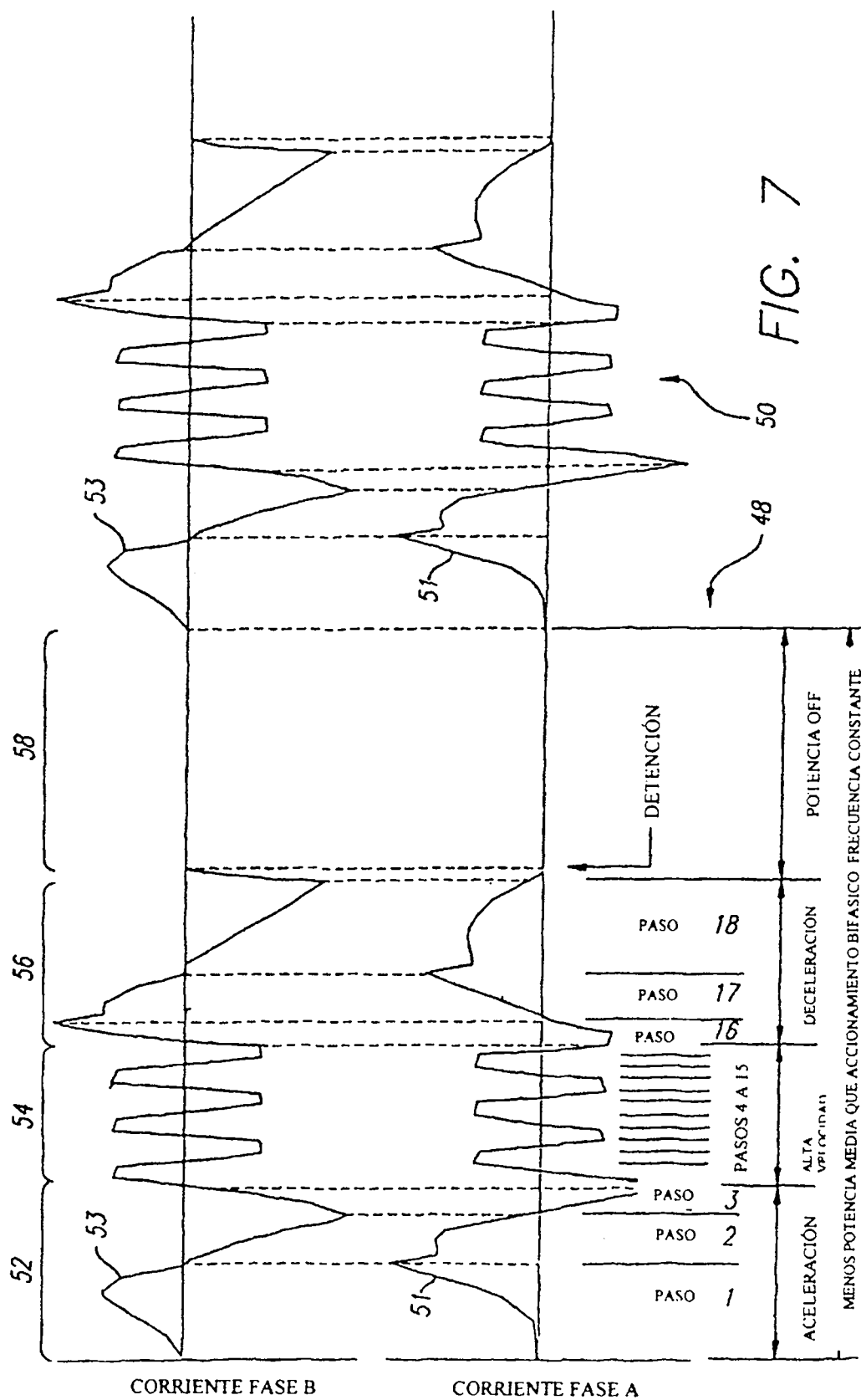
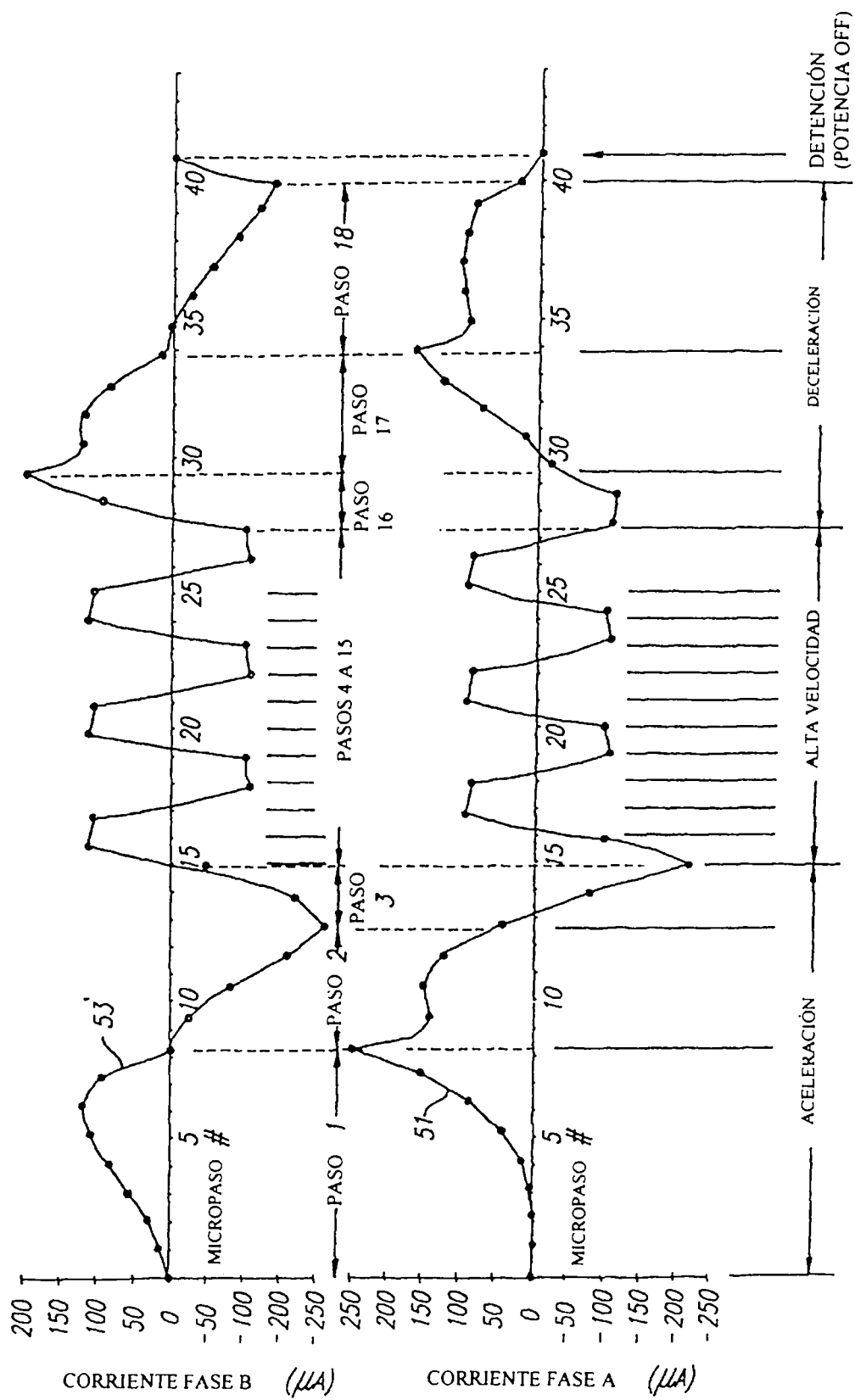


FIG. 8



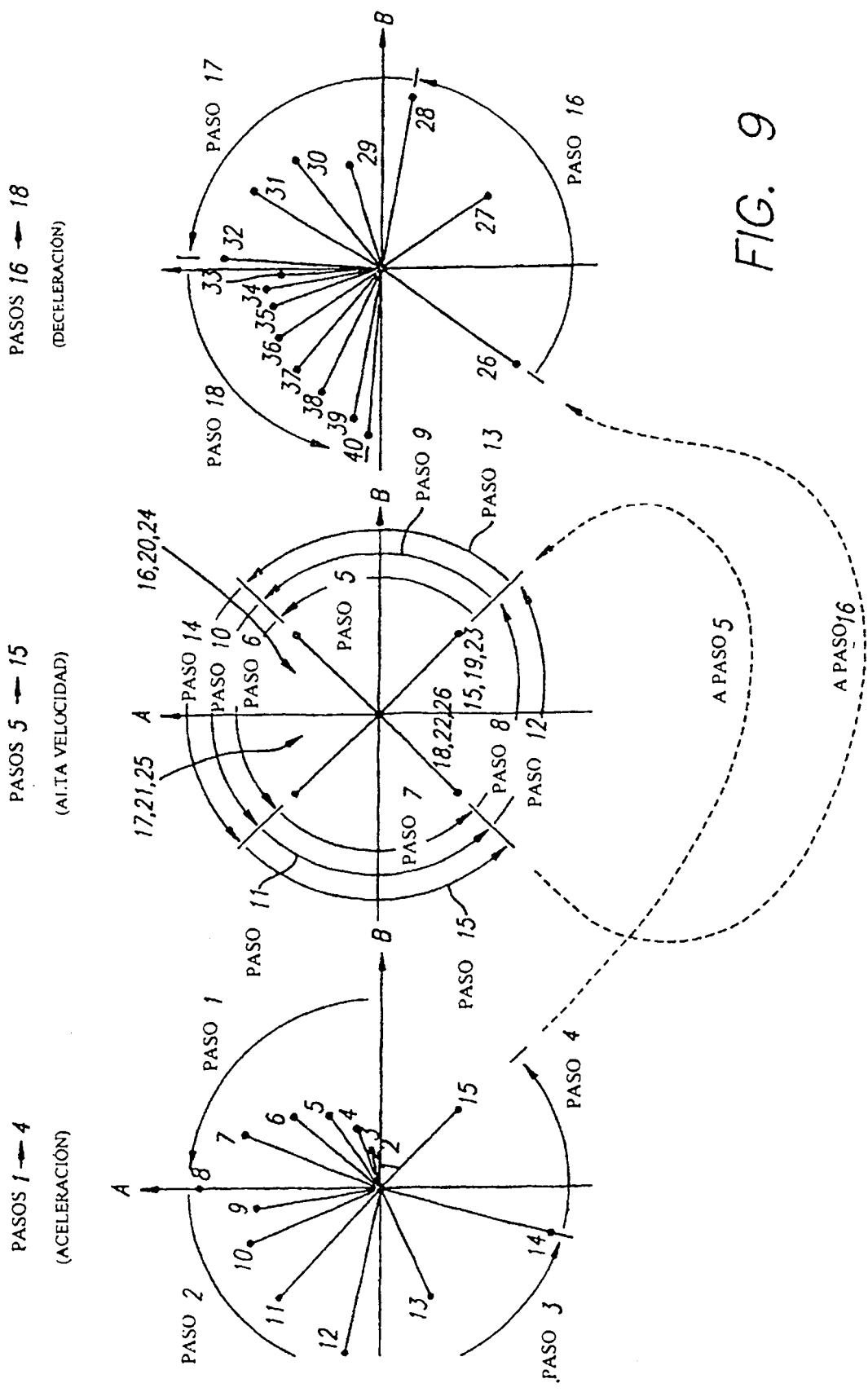


FIG. 10

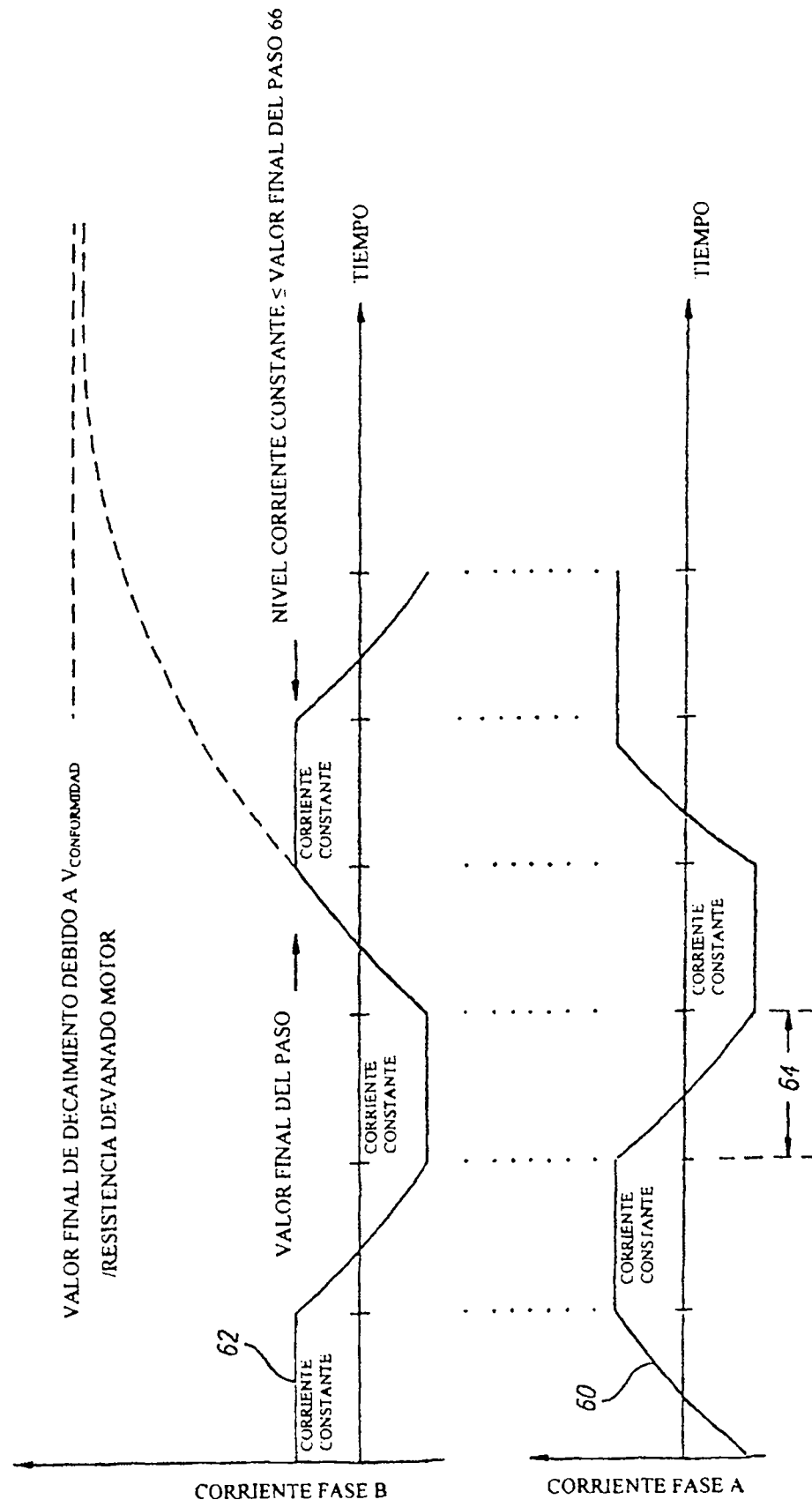


FIG. 11A

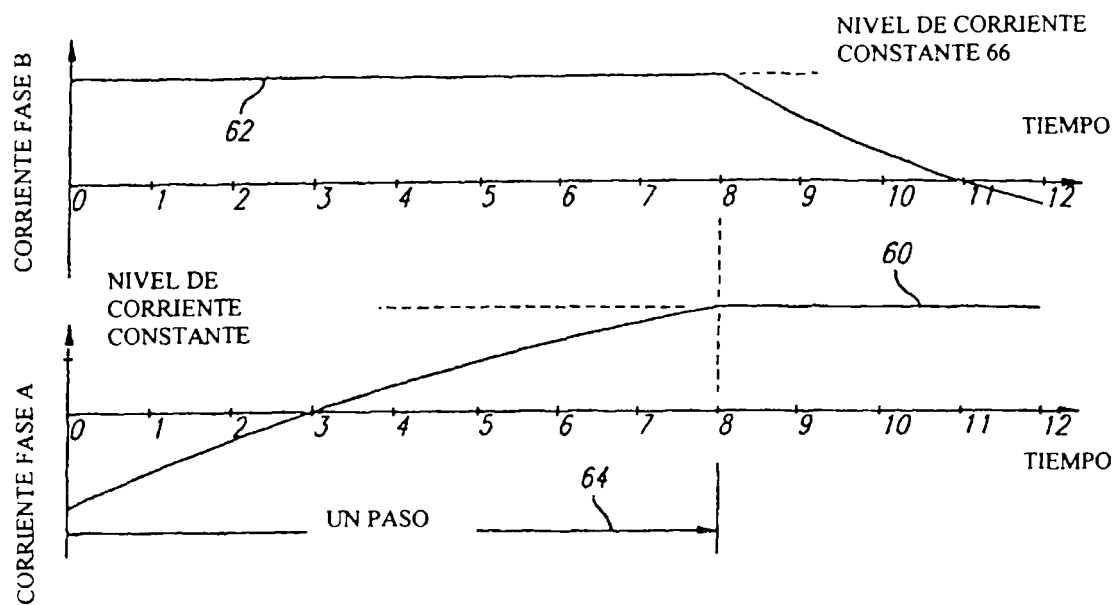


FIG. 11B

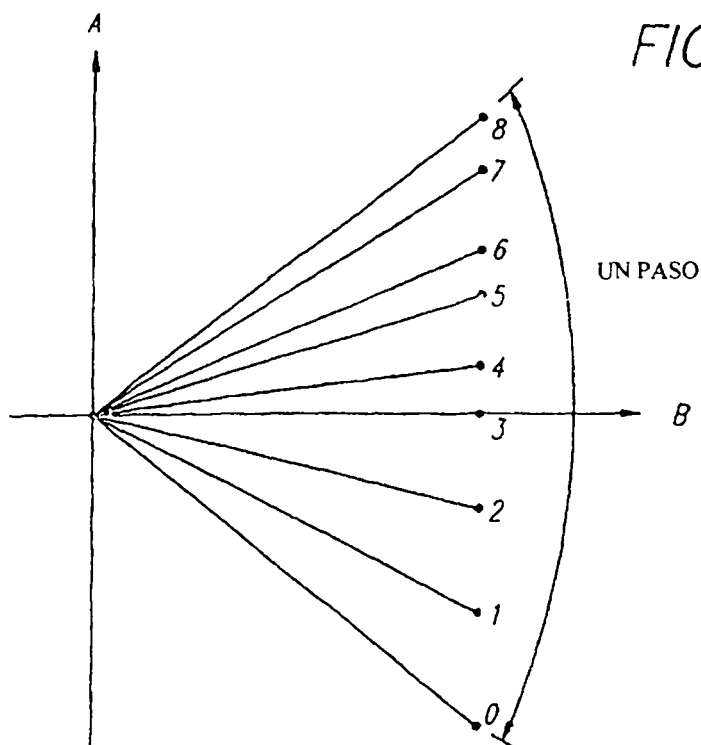


FIG. 12

