

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 394 479**

51 Int. Cl.:

**H02P 6/18** (2006.01)

**H02P 25/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.07.2000 E 00948458 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la solicitud europea: **19.06.2002 EP 1214777**

54 Título: **Controlador para máquinas eléctricas**

30 Prioridad:

**30.07.1999 SE 9902821**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**01.02.2013**

73 Titular/es:

**CG DRIVES & AUTOMATION SWEDEN AB  
(100.0%)  
Box 22225  
250 24 HELSINGBORG, SE**

72 Inventor/es:

**STENDAHL, HENRIK;  
GÖRANSSON, GÖRAN y  
BENGTSSON, JOHAN**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 394 479 T3**

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

**DESCRIPCIÓN**

Controlador para máquinas eléctricas

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere a un circuito de control para una máquina de reluctancia y a un procedimiento de funcionamiento de un circuito de control de este tipo.

**Técnica relevante**

10 Las máquinas de reluctancia tienen dos partes, que son amovibles una en relación con la otra, comúnmente denominadas "estator" y "rotor", respectivamente. Los tipos más comunes de máquinas de reluctancia tienen un rotor que está suspendido de manera que puede rotar dentro de un estator. La máquina está provista de bobinas, a las que se puede ser proporcionar una corriente eléctrica con el fin de producir un flujo magnético. El rotor en combinación con el estator forma un circuito magnético a través del cual circula el campo magnético producido por las bobinas.

Cuando la posición mutua entre el rotor y el estator cambia, entonces la reluctancia en el circuito magnético cambia.

Con el fin de accionar un motor de reluctancia con un número de devanados, la corriente se conecta a los devanados de una manera que depende de la posición mutua del rotor y del estator.

15 Una forma conocida para proporcionar este control de la corriente incluye la detección de la posición del rotor con la ayuda de sensores de posición separados que están acoplados al rotor, con lo que los sensores de posición producen una señal de salida que depende de la posición del rotor.

Otra forma conocida para lograr el control de las corrientes de fase utiliza el hecho de que la inductancia de una fase varía dependiendo de la posición del rotor con relación al estator.

20 La patente norteamericana número 5.043.643 describe un procedimiento para determinar la posición del rotor de una máquina de reluctancia por medio de la ecuación

$$(U-R \cdot i) = d/dt(L \cdot i),$$

25 en la que  $i$  es la corriente a través de los devanados de fase, en la que  $U$  es el voltaje a través de una conexión en serie del devanado de fase, una válvula de transistor y una resistencia de sensor de corriente, y en la que  $R$  es una constante predeterminada que corresponde a la suma de las resistencias en un devanado de fase, un transistor activado y una resistencia de medición de corriente.

30 El documento norteamericano US 5.525.887 desvela un diagrama esquemático simplificado de un circuito electrónico para la determinación de la posición del rotor con respecto al estator de un motor de Reluctancia Conmutada. La posición determinada se utiliza con el fin de poder energizar o conmutar un devanado de fase del motor de Reluctancia Conmutada en el momento adecuado. Más en particular, el circuito incluye una pluralidad de conmutadores de fase conectados entre los citados devanados de fase y un voltaje de suministro para conectar eléctricamente de manera selectiva el voltaje de suministro a cada devanado de fase. El circuito para controlar el motor incluye medios de detección de corriente conectados al devanado de fase. El sensor de corriente produce como salida un voltaje que es proporcional a la corriente. La corriente que circula a través del devanado de fase genera una señal correspondiente en el sensor.

35 El documento WO 99/09646 desvela una máquina de reluctancia que tiene dos partes mutuamente amovibles, y al menos un devanado de fase que tiene una inductancia que depende de la posición mutua de las partes. Un dispositivo para la regulación de una máquina de reluctancia comprende un puente de válvula que tiene una válvula controlable, que está conectada en serie con el devanado de fase y que es ajustable entre un estado esencialmente abierto y un estado conductor, y medios para medir una corriente a través del devanado de fase.

**Sumario de la invención**

45 La inductancia momentánea de un devanado se puede determinar proporcionando un impulso de voltaje que tiene una cierta amplitud a un devanado y midiendo la respuesta de corriente - tiempo. De esta manera, un valor de la inductancia puede ser calculado, por ejemplo, midiendo la amplitud de la corriente en un cierto momento después de la conmutación del impulso. Alternativamente, un valor de la inductancia se puede calcular midiendo la cantidad de tiempo que transcurre hasta que se alcance una cierta amplitud de corriente. En ambos casos, sin embargo, la medición implica el suministro de impulsos de voltaje al devanado. La provisión de tales impulsos de voltaje con una cierta frecuencia de repetición puede hacer que se genere ruido por vibraciones en los componentes.

La presente invención se refiere al problema de la mejora del rendimiento de un circuito de control para una máquina de reluctancia.

Este problema se soluciona por medio de un circuito de control para una máquina de reluctancia que tiene dos partes mutuamente amovibles, y al menos un devanado inductivo de fase, cuya inductancia depende de la posición mutua de las partes; el circuito de control comprende:

5 un primer terminal y un segundo terminal para la conexión a una fuente de energía, estando acoplado el devanado de fase entre el primer terminal y el segundo terminal a través de un circuito en puente; comprendiendo el citado circuito en puente:

10 válvulas de accionamiento para disponer el devanado en un modo de accionamiento para hacer que una corriente de accionamiento circule a través del devanado de fase, teniendo la corriente de accionamiento un cierto valor máximo; y

un sensor de corriente para la medición de una corriente de prueba cuando el devanado está en un modo de no accionamiento; en el que

el circuito de control incluye:

15 un medio para establecer la citada posición mutua dependiendo de un valor de corriente y / o de un valor de tiempo medidos; estando adaptado el citado medio de establecimiento de posición para establecer la citada posición mutua dependiendo de la citada corriente de prueba.

Además, el sensor de corriente es un sensor de corriente de prueba que está adaptado para la medición de corrientes de prueba que tienen un segundo valor máximo que es menor que el citado cierto valor máximo; y el circuito en puente incluye una válvula de prueba, diferente de las citadas válvulas de accionamiento, que está adaptada para hacer que la corriente de prueba circule a través del devanado y a través del citado sensor de corriente de prueba durante un modo de no accionamiento; estando conectada en serie la citada válvula de prueba con el citado sensor de corriente de prueba. Además, el circuito de control está adaptado para controlar las válvulas con el fin de evitar que la citada corriente de accionamiento circule a través del sensor de corriente de prueba.

20 El problema también se soluciona por un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11 de procedimiento independiente adjunta. Otras realizaciones de la invención están definidas en las reivindicaciones dependientes.

Esta solución permite ventajosamente mediciones de posición utilizando bajas amplitudes de corriente. Las amplitudes de corriente más bajas conducen ventajosamente a la reducción de ruido de la máquina de reluctancia, puesto que el nivel de ruido está relacionado estrechamente con las amplitudes de corriente.

30 Además la solución anterior permite realizar mediciones de corriente más frecuentes, mejorando así la versatilidad del circuito de control. Puesto que la posición y el valor de la inductancia, usando el circuito de control que se ha descrito más arriba, se puede establecer con un valor superior de corriente más pequeño, la frecuencia de repetición también se puede incrementar. Esto es debido al hecho de que un valor superior de corriente más pequeño a través del devanado al final de un impulso de voltaje corresponde a una menor cantidad de energía almacenada en el devanado. Por lo tanto, la energía almacenada en el devanado se puede drenar más rápidamente y se puede iniciar mucho antes un nuevo ciclo de medición. Por lo tanto, el procedimiento de medición de la inductancia se puede utilizar con una mayor velocidad de la máquina. De acuerdo con realizaciones preferidas, la medición de la corriente puede tener una frecuencia de repetición de más de un kilohercio. Preferiblemente, la frecuencia de repetición de la medición corriente es superior a 1,5 kHz.

40 Con una medición de corriente más frecuente, la inexactitud de las determinaciones de inductancia resultantes también se reduce, lo que conduce a una determinación de la posición más precisa para una máquina de reluctancia en movimiento. Este efecto positivo se obtiene puesto que el acortamiento de la duración del procedimiento de medición de la corriente, cuando la máquina de reluctancia está en movimiento, conduce a un menor movimiento del rotor durante el procedimiento de medición. Puesto que la inductancia depende de la posición, el movimiento reducido del rotor conduce a un cambio reducido de la inductancia debido al movimiento durante el procedimiento de medición de la corriente.

45 Puesto que la presente solución de medición de corriente hace que sea posible realizar la medición de la inductancia usando sensores de corriente separados S3<sub>A</sub>, S3<sub>B</sub>, S3<sub>C</sub>, es posible utilizar valores de corriente más bajos durante la medición para establecer el valor de la inductancia momentánea del devanado. En otras palabras, la relación entre la corriente máxima de accionamiento y la corriente máxima de prueba se incrementa. Un incremento de esta relación es ventajoso puesto que la corriente de prueba puede producir un par negativo cuando la corriente de prueba circula a través de un devanado que se encuentra en un modo de no accionamiento. Por lo tanto, una alta relación entre la corriente máxima de accionamiento y la corriente máxima de prueba reduce el impacto de cualquier par negativo producido por la corriente de prueba. En efecto, una relación incrementada entre la corriente máxima de accionamiento y la corriente máxima de prueba produce un mejor rendimiento de la máquina de reluctancia.

De acuerdo con una realización, el circuito de control funciona para controlar las válvulas para evitar que las corrientes que superan el citado segundo valor máximo circulen a través del sensor de corriente. El segundo valor máximo puede ser el 5 por ciento del valor máximo de la corriente de accionamiento.

5 El circuito de control comprende, además, un medio para establecer una velocidad de cambio de la corriente de prueba en respuesta al citado valor de tiempo y al citado valor de corriente; siendo indicativo la citada velocidad de cambio de la inductancia momentánea del devanado. El medio de establecimiento de la posición está adaptado para establecer la citada posición mutua dependiendo de la citada velocidad de cambio.

### **Breve descripción de las figuras**

10 La figura 1A es un esquema de principio esquemático de una máquina eléctrica con dos partes mutuamente amovibles y devanados de fase.

La figura 1B ilustra un flujo magnético en la máquina de acuerdo con la figura 1A.

La figura 2A ilustra que la inductancia en un devanado en una máquina de acuerdo con la figura 1A varía, dependiendo de la posición mutua entre las partes amovibles.

15 La figura 2B ilustra la dependencia posicional del par que se puede obtener mediante la activación de un devanado de fase.

La figura 3 ilustra un aparato de control con puentes de válvulas conectados a los devanados de fase en el motor de acuerdo con la figura 1A.

La figura 4A es un diagrama de circuito equivalente de uno de los puentes de válvulas de la figura 3.

La figura 4B es un diagrama de circuito equivalente de otra realización de un puente de válvula.

20 La figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra una realización de un procedimiento de medición.

La figura 6 es un diagrama de circuito equivalente de una realización alternativa de un puente de válvula.

### **Descripción de realizaciones preferidas**

25 En aras de la simplicidad, la invención se describirá a continuación con referencia a máquinas rotativas. La invención no está limitada, sin embargo, a las máquinas rotativas puesto que lo que se describe es aplicable también a otras máquinas, tales como, por ejemplo máquinas lineales en las que una parte móvil fabricada de un material magnético blando se puede desplazar linealmente a lo largo de un estator lineal recto con un número de devanados de estator. La invención es aplicable a un circuito de control para una máquina de reluctancia que funciona como un motor, y también a un circuito de control para una máquina de reluctancia que funciona como un generador.

30 La figura 1A es una vista esquemática que ilustra una realización de una máquina de reluctancia 10 con un estator 20 y un rotor 30 que puede rotar en el interior del estator.

El estator 20 está provisto de tres devanados separados  $W_A$ ,  $W_B$  y  $W_C$ , respectivamente.

35 De acuerdo con una realización, el rotor está fabricado de un material magnético blando que comprende un número de proyecciones 40, como se ilustra en la figura 1A. El material magnético blando es un material ferromagnético que, cuando se ha magnetizado una vez, puede ser fácilmente desmagnetizado, es decir, solamente es necesaria una pequeña fuerza coercitiva para la eliminación del magnetismo que se produjo cuando el material fue magnetizado. De acuerdo con una versión de la invención, el rotor comprende hierro dulce magnético. De acuerdo con una realización, también el estator incluye un material blando magnético, tal como, por ejemplo, hierro dulce magnético.

40 Cuando el rotor es girado alrededor de un árbol central, su posición cambia, lo cual se ilustra por medio de la posición angular  $\theta$  en la figura 1A. Como se ilustra en la figura 1, un sistema de coordenadas imaginarias tiene su origen en el árbol central del motor, con dos ejes mutuamente ortogonales  $x$  e  $y$ , respectivamente. La posición del rotor se puede definir como la posición angular  $\theta$  de una proyección 40 del rotor en relación con el eje  $x$ .

45 Cuando la corriente es conducida a través de un devanado, por ejemplo, el devanado  $W_A$ , se produce un flujo magnético que circula desde el estator a través del rotor y de vuelta al estator, y por lo tanto se produce un circuito magnético. La figura 1B ilustra un ejemplo de un circuito magnético de este tipo para un motor trifásico de reluctancia en el caso de que la corriente se conduzca a través del devanado  $W_A$  cuando la proyección del rotor es dirigida hacia las partes del estator en las que están dispuestos los devanados  $W_A$  productores de campo magnético. Se debe hacer notar que la figura 1B sólo ilustra el principio del flujo magnético y no se debe interpretar de manera que la corriente deba ser conducida necesariamente a través de un devanado cuando el rotor se encuentra en la posición que se muestra en la figura 1B.

La corriente en los devanados de fase del motor debe ser controlada de manera que la corriente se suministre cuando la posición del rotor con relación al estator es tal que el par del motor es optimizado.

5 Las figuras 1A y 1B ilustran una máquina con tres devanados, cuyo rotor tiene ocho proyecciones y cuyo estator tiene doce proyecciones. De acuerdo con una realización preferida, el rotor, sin embargo, tiene cuatro proyecciones, los denominados polos salientes, y el estator tiene seis proyecciones.

La figura 2A ilustra cómo la inductancia varía en el devanado  $W_A$  dependiendo de la posición  $\theta$  del rotor.

10 La figura 2B ilustra el par que se puede obtener, en la posición  $\theta$  del rotor, por medio de la activación de un devanado de fase. Por la comparación de la curva que muestra la inductancia  $L_{WA}$  para el devanado  $W_A$  con la curva que muestra el par  $T_{WA}$  conseguido por medio de la activación del devanado  $W_A$  (las líneas continuas en la figura 2A y en la figura 2B, respectivamente), se puede observar que se obtiene un par positivo del devanado  $W_A$  si este devanado es excitado cuando la inductancia tiene una derivada positiva.

15 Esto significa que durante ciertas condiciones de accionamiento, cuando se requiere un par máximo en la dirección hacia adelante, es preferible excitar el devanado  $W_A$  de tal manera que una corriente circule a través del devanado mientras se encuentra en las posiciones del rotor en las que  $T_{WA}$  tiene un valor positivo. En las posiciones del rotor en las que  $T_{WA}$  tiene un valor negativo, el devanado  $W_A$  preferiblemente debe estar no excitado, es decir, no debe circular ninguna corriente de accionamiento a través del devanado en tales posiciones. De manera similar, los devanados  $W_B$  y  $W_C$  deberían ser controlados para ser excitados o no excitados de una manera correspondiente con respecto al par óptimo  $T_{WB}$  y  $T_{WC}$ , respectivamente.

### Una realización de un aparato de control

20 La figura 3 ilustra un aparato de control 60 conectado a los tres devanados de fase  $W_A$ ,  $W_B$  y  $W_C$ . El aparato de control 60 comprende una fuente de energía 70 que suministra un voltaje de CC con una amplitud de  $+U_d$  a una conexión 80. El devanado de fase  $W_A$  está acoplado entre la conexión a tierra 90 de la fuente de voltaje y el polo positivo 80 a través de un circuito en puente 85A.

25 El circuito en puente 85A comprende un primer transistor de potencia  $T1_A$  para el acoplar la conexión 80 a un extremo del devanado  $W_A$ , y un segundo transistor de potencia  $T2_A$  en serie con un sensor de corriente  $S2_A$  acoplado entre el otro extremo del devanado y la conexión de tierra 90, como se muestra en la figura 3. Un diodo  $D1_A$ , en serie con un sensor  $S1_A$ , está conectado entre la conexión a tierra 90 y el emisor del transistor  $T2_A$  de tal manera que el cátodo del diodo esté acoplado al emisor del transistor  $T1_A$ . Un diodo  $D2_A$  está conectado de manera que su cátodo esté conectado al colector del transistor de potencia  $T1_A$  y su ánodo esté acoplado al colector del transistor de potencia  $T2_A$ . Además el puente 85A comprende una conexión en serie de una tercera válvula de transistor  $T3_A$  un tercer sensor de corriente  $S3_A$ . La tercera válvula de transistor  $T3_A$  y el tercer sensor de corriente  $S3_A$  están acoplados en paralelo con el segundo transistor de potencia  $T2_A$  y con el segundo sensor de corriente  $S2_A$ .

35 Aunque se ha descrito con referencia a los transistores de potencia, una válvula activa  $T1_A$ ,  $T2_A$ ,  $T3_A$  puede estar constituida, por ejemplo, por un transistor bipolar, un tiristor, un IGBT o un MOSFET. Las válvulas pasivas  $D1_A$ ,  $D2_A$  pueden estar constituidas por diodos, como por ejemplo diodos SCHOTTKY.

Los otros devanados de fase  $W_B$  y  $W_C$ , respectivamente, están acoplados a los circuitos en puente 85B y 85C, respectivamente, en la misma manera que el primer devanado  $W_A$ .

40 Una de unidad de control 100 que comprende un microprocesador está dispuesta para controlar las válvulas de transistor. La unidad de control 100 tiene nueve salidas, estando conectadas cada una de ellas a través de su propio amplificador 110 a la propia base de las seis válvulas de transistor. El controlador 100 puede ser realizado como un Procesador de Señal Digital (DSP) que tiene un temporizador con el fin de permitir mediciones de tiempo.

45 Los sensores de corriente  $S1_A$ ,  $S2_A$  y  $S3_A$  son, de acuerdo con una realización, sensores Hall que suministran valores de corriente medidos a la unidad de control 100. De acuerdo con una realización preferida, sin embargo, los sensores de corriente  $S1_A$ ,  $S2_A$  y  $S3_A$  comprenden resistores shunt, y la corriente se mide como una caída de voltaje a través de la resistencia respectiva.

50 La señal detectada, indicativa de la corriente a través del sensor  $S2_A$ , se suministra a unidad de control a través de un multiplexor 115. Las señales detectadas por los sensores  $S1_A$  y  $S3_A$  son suministradas a las entradas respectivas de la unidad de control 100 a través del multiplexor, de la misma manera. El multiplexor funciona para tomar muestras de las corrientes medidas desde los tres devanados  $W_A$ ,  $W_B$ ,  $W_C$  de una forma controlada, de tal manera que la unidad de control 100 pueda funcionar como si tuviera acceso a los valores de medición continua. El multiplexor es controlado y sincronizado por la unidad de control 100 para conseguir esto.

De la misma manera, los valores de corriente medidos para los devanados  $W_B$  y  $W_C$  se suministran a la unidad de control 100.

Una unidad de sensor 120 está conectada de manera que detecta el voltaje  $U_d$  entre el polo positivo 80 y la conexión a tierra 90. La unidad de sensor 120 suministra un voltaje medido  $U_{dm}$  a la unidad de control 100. La unidad de sensor 120 incluye, de acuerdo con una realización, un divisor de voltaje con resistencias  $R_x$  y  $R_y$ , que están conectadas entre la conexión de voltaje positivo 80 y la conexión de tierra 90. Como se ilustra en la figura 3, la salida de la unidad de sensor 120 está conectada a un punto 140 entre las resistencias  $R_x$  y  $R_y$ , de manera que la señal de salida  $U_{dm}$  del sensor sea proporcional al voltaje de accionamiento  $U_d$ .

Mientras que los sensores  $S1_A$ ,  $S1_B$ ,  $S1_C$  y los sensores  $S2_A$ ,  $S2_B$ ,  $S2_C$  se utilizan principalmente para establecer si hay, o no, circulaciones de corriente a través del tramo correspondiente del circuito, los sensores  $S3_A$ ,  $S3_B$ ,  $S3_C$  se utilizan para establecer una inductancia momentánea en los devanados pertinentes  $W_A$ ,  $W_B$ ,  $W_C$  (véase la figura 4A). La figura 4A es un diagrama de circuito que ilustra el puente de válvula 85A para el devanado  $W_A$  en la figura 3.

Con referencia a la figura 4B se muestra una realización alternativa de un puente de válvula. En esa realización, las corrientes de accionamiento se pueden medir con un sensor Hall  $S_{WA}$  conectado en serie con el devanado  $W_A$ . El sensor Hall reemplaza así a los sensores de corriente  $S1$  y  $S2$  que se muestran en la figura 4A.

Puesto que la presente solución de medición de la corriente hace que sea posible llevar a cabo la medición de la inductancia usando sensores de corriente separados  $S3_A$ ,  $S3_B$ ,  $S3_C$ , será posible utilizar valores de corriente más bajos durante la medición para establecer el valor de la inductancia momentánea del devanado. En otras palabras, la relación entre la corriente máxima de accionamiento  $i_{Wmax}$  y la corriente máxima de prueba  $i_{prueba\_max}$  es incrementada. Un incremento de esta relación es ventajoso ya que la corriente de prueba puede producir un par negativo (véase la figura 2B) cuando la corriente de prueba circula a través de un devanado que se encuentra en un modo de no accionamiento. Por lo tanto, cuanto menor sea la corriente de prueba en relación con la corriente de accionamiento, mejor será el resultado.

De acuerdo con realizaciones preferidas de la invención, la relación entre la corriente máxima de accionamiento  $i_{Wmax}$  y la corriente máxima de prueba  $i_{prueba\_max}$  es superior a 20. De acuerdo con una realización de la invención, la relación entre la corriente máxima de accionamiento  $i_{Wmax}$  y la corriente máxima de prueba  $i_{prueba\_max}$  es 40 o superior. De acuerdo con algunas realizaciones, la relación es superior a 100. De acuerdo con las realizaciones más preferidas, la relación es 120 o superior.

El aparato de control 60 se puede adaptar a condiciones de trabajo diferentes y a máquinas de reluctancia diferentes. El siguiente primer ejemplo se refiere a un aparato de control adaptado para accionar una máquina de reluctancia con un voltaje alto de accionamiento  $U_d$  y una potencia baja de motor:

### Ejemplo 1A:

$U_d = 300$  Voltios

$i_{Wmax} = 3,0$  amperios

La inductancia en los devanados  $W_A$ ,  $W_B$ ,  $W_C$  depende de la posición dentro del intervalo aproximado de 0,16 Henrios a 1,6 Henrios.

La resistencia en los sensores  $S2_A$ ,  $S2_B$ ,  $S2_C$  y en los sensores  $S1_A$ ,  $S1_B$ ,  $S1_C$  es de 50 miliohmios.

La resistencia en los sensores de corriente  $S3_A$ ,  $S3_B$ ,  $S3_C$  es de 100 ohmios.

La corriente máxima de prueba a través de  $S3_A$ ,  $S3_B$ ,  $S3_C$  es de 25 miliamperios.

La relación entre la corriente máxima de accionamiento  $i_{Wmax}$  y la corriente máxima de prueba  $i_{prueba\_max}$  es, en este ejemplo:  $i_{Wmax} / i_{prueba} = 120$

Usando esta corriente máxima de prueba, el procedimiento de medición descrito con referencia a la Figura 5 se puede repetir a continuación hasta 3 750 veces por segundo (una frecuencia de repetición de 3,75 kHz).

### Ejemplo 1B:

$U_d = 300$  Voltios

$i_{Wmax} = 3,0$  amperios

La inductancia en los devanados  $W_A$ ,  $W_B$ ,  $W_C$  depende de la posición dentro del intervalo aproximado de 0,16 Henrios a 1,6 Henrios.

La resistencia en los sensores  $S2_A$ ,  $S2_B$ ,  $S2_C$  y en los sensores  $S1_A$ ,  $S1_B$ ,  $S1_C$  es de 50 miliohmios. La resistencia en los sensores de corriente  $S3_A$ ,  $S3_B$ ,  $S3_C$  es de 100 ohmios.

La corriente máxima de prueba a través de  $S3_A$ ,  $S3_B$ ,  $S3_C$  es de 5 mA.

La relación entre la corriente máxima de accionamiento  $i_{Wmax}$  y la corriente máxima de prueba  $i_{prueba\_max}$  es, en este ejemplo:  $i_{Wmax} / i_{prueba} = 600$

Usando esta corriente máxima de prueba, el procedimiento de medición descrito con referencia a la Figura 5 se puede repetir a continuación hasta 18750 veces por segundo (una frecuencia de repetición de 18,75 kHz).

### Ejemplo 2:

Un ejemplo de un aparato de control adaptado para accionar una máquina de reluctancia con un voltaje bajo de accionamiento  $U_d$  y una potencia de motor media tiene los valores de parámetros que siguen:

$U_d = 24$  voltios

$i_{Wmax} = 200$  Amperios

5 La inductancia en los devanados WA, WB, WC depende de la posición dentro de la gama aproximada de 1/12 milihenrios a 1 milihenrio.

Se utiliza un sensor Hall (figura 4B) adaptado para permitir la medición de corrientes de hasta 200 amperios.

La resistencia en los sensores de corriente S3A, S3B, S3C es de 1,0 ohmios.

10 La corriente máxima de prueba a través de S3A, S3B, S3C es de 2 amperios. Usando esta corriente máxima de prueba, el procedimiento de medición descrito con referencia a la Figura 5 se puede repetir a continuación más de 2500 veces por segundo (una frecuencia de repetición de más de 2500 Hz). De acuerdo con una realización preferida, la frecuencia de repetición es de aproximadamente 6000 Hz).

La relación entre la corriente máxima de accionamiento  $i_{Wmax}$  y la corriente máxima de prueba  $i_{prueba\_max}$  es, en este ejemplo:  $i_{Wmax} / i_{prueba} = 100$ .

15 Con referencia al ejemplo 2 se debe hacer notar que si se utiliza un sensor shunt de 1 ohm en lugar del sensor Hall, la corriente máxima de accionamiento estaría limitada a 24 amperios, y en consecuencia no funcionaría. Si, por otro lado, si se utilizase el sensor Hall (adaptado para permitir la medición de corrientes de hasta 200A) para producir los valores medidos para establecer la inductancia momentánea en lugar de utilizar el sensor S3, la corriente de medición  $i_{prueba}$  tendría que ser más grande, o la salida del sensor Hall tendría que ser amplificada. Una corriente de medición más grande conduciría a un mayor par negativo, lo que tendría implicaciones negativas como se ha mencionado más arriba. La amplificación de una señal de salida baja implica un amplificador que tiene un número de componentes cuya inexactitud se suma a la señal de medición. Por lo tanto, la medición sería menos precisa que la que se describe en el Ejemplo 2.

### Ejemplo 3:

25 Otro ejemplo de un aparato de control adaptado para el accionamiento de una máquina de reluctancia tiene los parámetros con los siguientes valores:

$U_d = 300$  Voltios

$i_{Wmax} = 2,0$  amperios

30 La inductancia en los devanados WA, WB, WC depende de la posición dentro del intervalo aproximado de 0,22 henrios a 1,8 henrios.

La resistencia en los sensores de corriente S3A, S3B, S3C es de 10 ohmios.

La corriente máxima de prueba a través de S3A, S3B, S3C es de 50 miliamperios. Usando esta corriente máxima de prueba, el procedimiento de medición descrito con referencia a la Figura 5 se puede repetir a continuación hasta 1670 veces por segundo (una frecuencia de repetición de 1,67 kHz).

35 La relación entre la corriente máxima de accionamiento  $i_{Wmax}$  y la corriente máxima de prueba  $i_{prueba\_max}$  es, en este ejemplo:  $i_{Wmax} / i_{prueba} = 40$ .

40 Con referencia a la figura 4A se puede observar que cuatro estados de trabajo excitados alternativos, también denominados estados de accionamiento, se pueden producir para un devanado, dependiendo de cual de las válvulas T3<sub>A</sub>, T2<sub>A</sub> y / o T1<sub>A</sub> están cerradas o abiertas, respectivamente. Aunque lo que sigue se describe para el devanado W<sub>A</sub>, los mismos estados de trabajo están disponibles para los otros devanados.

#### WSI. Un primer estado de trabajo

En un primer estado de trabajo WSI, la válvula T2<sub>A</sub> así como la válvula T1<sub>A</sub> están conduciendo, y la válvula de T3<sub>A</sub> está en estado no conductor. En este estado, una corriente de accionamiento circulará desde el polo positivo 80 a través de la válvula T1<sub>A</sub> a través del devanado, de la válvula T2<sub>A</sub> y del sensor de corriente S2<sub>A</sub>, a tierra 90.

#### 45 WSII. Un segundo estado de trabajo

En un segundo estado de trabajo (WSII) las válvulas activas T1<sub>A</sub>, T2<sub>A</sub> están bloqueadas de manera que son no conductoras, y una corriente circula en el devanado desde la conexión a tierra 90 a la conexión positiva 80. La válvula T3<sub>A</sub> también está bloqueada en este estado de trabajo.

#### WSIII. Un tercer estado de trabajo

50 En un tercer estado de trabajo (WSIII) sólo una de las válvulas, T1<sub>A</sub>, está conduciendo, y cuando el devanado todavía contiene energía para accionar una corriente, esa corriente circula en el circuito definido por D2<sub>A</sub>, T1<sub>A</sub> y el devanado.

#### WSIV. Un cuarto estado de trabajo

En un cuarto estado de trabajo (WSIV) sólo una de las válvulas,  $T_{2A}$ , está conduciendo, y cuando el devanado todavía contiene energía para accionar una corriente, esa corriente circula en el circuito definido por  $T_{2A}$ ,  $S_{2A}$ ,  $S_{1A}$ ,  $D_{1A}$  y el devanado.

5 Estos cuatro estados anteriores WSI - WSIV son considerados como estados de accionamiento, puesto que pueden implicar corrientes de una magnitud de accionamiento a través del devanado, es decir, corrientes de importancia para la generación de par de torsión significativo, como se ha explicado en relación con la figura 2 más arriba. Las corrientes de una magnitud menor que el 5 por ciento de la corriente máxima de accionamiento, se pueden considerar que no son de magnitud de accionamiento. La disposición del tercer sensor de corriente  $S_{3A}$  permite ventajosamente la medición de la corriente con una inexactitud de medición reducida, como se describirá en detalle más adelante.

10 WSIV. Un quinto estado de trabajo

En el quinto estado de trabajo WSV, la válvula  $T_{3A}$  y la válvula  $T_{1A}$  están conduciendo, y la válvula  $T_{2A}$  está en estado no conductor. En este estado, una corriente de prueba  $i_i$  circulará desde el polo positivo 80 a través de la válvula  $T_{1A}$  a través del devanado, de la válvula  $T_{3A}$ , y del sensor de corriente  $S_{3A}$ , a tierra 90.

15 WSVI. Un sexto estado de trabajo

En un sexto estado de trabajo, sólo una de las válvulas,  $T_{3A}$ , está conduciendo, y cuando el devanado contiene energía para producir un flujo de corriente, esa corriente circula en el circuito definido por  $T_{3A}$ ,  $S_{3A}$ ,  $S_{1A}$ ,  $D_{1A}$  y el devanado.

20 Los estados de trabajo quinto y sexto pueden ser utilizados en combinación para determinar la inductancia momentánea del devanado de una manera ventajosa. Esto se describirá en más detalle a continuación.

Una realización de un procedimiento de medición de corriente

25 La unidad de control 100 determina el estado de trabajo de la corriente del devanado  $W_A$  con la ayuda de las señales de entrada desde los sensores de corriente  $S_{1A}$ ,  $S_{2A}$ ,  $S_{3A}$  y las señales de salida de los amplificadores 110<sub>1A</sub>, 110<sub>2A</sub> y 110<sub>3A</sub>. Mediante la combinación de los valores lógicos de estas señales el estado de funcionamiento de la corriente puede ser deducido.

30 La máquina de reluctancia puede ser controlada para que funcione conmutando las válvulas de accionamiento  $T_{1A}$  y  $T_{2A}$ , respectivamente, con el fin de proporcionar el par deseado mediante el uso de combinaciones seleccionadas de los estados de accionamiento WSI - WSIV que se han descrito más arriba. El procedimiento de control para el funcionamiento de la máquina puede involucrar cualquiera de una pluralidad de procedimientos conocidos en los que la válvula  $T_{3A}$  se mantiene en un estado no conductor durante la excitación de accionamiento del devanado. De acuerdo con una realización de la invención, la máquina de reluctancia es controlada de una manera similar al procedimiento descrito en el documento US 4.868.478 cuyo contenido se incorpora a la presente memoria descriptiva por referencia. De acuerdo con la invención, sin embargo, las mediciones de corriente utilizadas para el establecimiento de la inductancia momentánea en un devanado de fase no energizado se realizan por medio de los sensores de corriente  $S_3$ .

35 La Figura 5 ilustra una realización de un procedimiento de acuerdo con la invención. En un paso S 110 S se realiza una prueba para determinar si el devanado de fase está en un modo de medición o en un modo de accionamiento. Esto se determina dependiendo de si el devanado relevante, por ejemplo,  $W_A$  se encuentra en una posición para proporcionar un par positivo. Cuando, por ejemplo, el devanado  $W_A$  está en una posición para proporcionar un par positivo y hay una corriente que circula a través del devanado  $W_A$  que supera a una cierta magnitud, entonces ese devanado de fase está en un modo de accionamiento. Si el devanado  $W_A$  está en una posición para proporcionar un par negativo, entonces ese devanado de fase está en un modo de medición, de acuerdo con una realización. La determinación final del modo de operación es realizada por el controlador 100, y por lo tanto depende de si el controlador desea que el devanado produzca el par (positivo o negativo) o proporcione datos de medición para las estimaciones de inductancia. Si el devanado no está en un modo de medición se encontrará en un modo de accionamiento, como se ilustra en el paso S 115 en la figura 5. En el modo de accionamiento, el controlador 100 controlará la corriente a la fase utilizando todos o algunos de los estados de trabajo WSI - WSIV.

40 Si el devanado está en un modo de medición, el paso siguiente (S 120) es para probar si el devanado está inactivo, es decir, si la corriente  $i_{WA}$  ha alcanzado el cero. Esta prueba puede implicar la medición de los niveles de voltaje en ambos extremos del devanado  $W_A$  utilizando una red de resistencias de alta impedancia conectada a tierra y a  $+U_d$  para proporcionar niveles de voltaje definidos en ambos extremos del devanado, incluso cuando no circula corriente por el devanado. Con referencia a la figura 4A, la corriente  $i_{WA}$  a través del devanado se puede establecer en cero cuando el nivel de voltaje en el extremo izquierdo del devanado sea igual al nivel de voltaje en el extremo derecho del devanado.

Si el paso de prueba S 120 establece que la corriente de devanado no es cero, el controlador establecerá el puente en el estado WSII para descargar la energía del devanado de una manera rápida (paso S 130). El controlador también monitorizará la corriente del devanado por medio de las mediciones de voltaje que se han mencionado más arriba así como para mantener el puente en el estado WSII hasta que la corriente alcance el cero.

5 Cuando la corriente se ha establecido en cero, se ejecutará el paso S 140. En el paso S 140, el controlador 100 conmuta al quinto estado de trabajo WSV con el fin de proporcionar un impulso de voltaje con una amplitud +  $U_d$  a través del devanado usando las válvulas T3<sub>A</sub> y T1<sub>A</sub>. En este estado, una corriente circulará desde el polo positivo 80 a través de la válvula T1 por el devanado, por la válvula T3 y por el sensor de corriente S3, a tierra 90. Sincrónicamente con la conmutación del puente al estado WSV, un temporizador es iniciado por el controlador 100 para medir la cantidad de tiempo que tarda la corriente en alcanzar un nivel predeterminado. La cantidad de tiempo depende de la inductancia instantánea en el devanado.

10 El tiempo se mide monitorizando la corriente (S 150) con el fin de detectar (S160) cuando la corriente alcanza el nivel predeterminado. Cuando el nivel de corriente predeterminado se detecta, el valor del temporizador es leído (S 170), y el valor de tiempo se suministra (S 180) a un proceso para la estimación de la inductancia. El paso S 180 es seguido por una repetición del paso S 110.

15 La medición de la corriente de acuerdo con los pasos S 150, S 160 se realiza usando el sensor de corriente S3<sub>A</sub>. De acuerdo con una realización preferida, el sensor S3<sub>A</sub> comprende un resistor que tiene una resistencia bien definida, y un comparador para detectar el voltaje en el resistor. El comparador proporciona una señal de indicador al controlador 100 (véase la figura 3) cuando el voltaje detectado alcanza el nivel predeterminado. Con la recepción de la señal de indicador el controlador lee el valor del temporizador. Esta realización es preferida debido a que un temporizador de precisión se integra fácilmente en el controlador operado por ordenador, y el componente comparador reacciona rápidamente con la detección del nivel de voltaje predeterminado.

20 Por lo tanto, es evidente de lo anterior que el controlador 100 puede controlar el interruptor T1<sub>A</sub>, T2<sub>A</sub>, T3<sub>A</sub> para prevenir que la corriente de accionamiento circule a través del sensor de corriente S3<sub>A</sub> durante los estados de accionamiento. En efecto, el controlador 100 controla los conmutadores T1<sub>A</sub>, T2<sub>A</sub>, T3<sub>A</sub> para evitar que las corrientes superiores al 5 por ciento de la corriente máxima de accionamiento circulen a través del sensor de corriente S3<sub>A</sub>. El hecho de que el sensor de corriente S3<sub>A</sub> no necesita soportar corrientes de magnitud de accionamiento hace que sea posible utilizar un sensor de corriente que tiene una inexactitud muy pequeña en el rango de medición de hasta aproximadamente el 5 por ciento de la corriente máxima de accionamiento.

25 El sensor de corriente de pruebas S3<sub>A</sub> se puede seleccionar para que tenga una resistencia de aproximadamente la misma magnitud que la resistencia del devanado W<sub>A</sub>. De acuerdo con una realización de la invención, la resistencia R<sub>S3A</sub> del sensor de corriente de prueba S3<sub>A</sub> se selecciona a cualquier valor mayor que aproximadamente la mitad de la resistencia R<sub>WA</sub> del devanado correspondiente W<sub>A</sub>:

$$35 \quad R_{S3A}/R_{WA} > 1/2$$

De acuerdo con otra realización, la resistencia del sensor de corriente de prueba S3<sub>A</sub> se selecciona de manera que la relación entre la resistencia R<sub>S3A</sub> en el sensor de corriente de prueba y la resistencia R<sub>WA</sub> en el devanado correspondiente W<sub>A</sub> sea mayor que 1/1.

$$R_{S3A}/R_{WA} > 1/1$$

40 De acuerdo con algunas realizaciones, la relación R<sub>S3A</sub> / R<sub>WA</sub> es mayor que 5/1.

$$R_{S3A}/R_{WA} > 5/1$$

Cuando el sensor de corriente de prueba comprende un resistor de prueba S3<sub>A</sub> que tiene una resistencia bien definida y un comparador 200 (véase la figura 6) para detectar el voltaje en el resistor de prueba, es posible usar un resistor de prueba que tenga una resistencia relativamente alta y una pequeña inexactitud.

45 El procedimiento ha sido descrito con referencia al devanado W<sub>A</sub> pero el mismo procedimiento puede ser ventajosamente aplicado a los otros devanados de la máquina eléctrica que se deben controlar.

El procedimiento de medición anterior produce valores de corriente y de tiempo que se pueden usar para establecer la inductancia instantánea del devanado.

50 El par T<sub>WA</sub>, que se obtiene mediante la activación del devanado W<sub>A</sub> es una función de la corriente que circula a través del devanado y de la posición  $\theta$  del rotor:

$$T_{WA} = f_1(i_{WA}, \theta) \quad (1)$$

La posición del rotor  $\theta$  se puede calcular del flujo magnético  $\psi$  que circula a través del circuito magnético correspondiente y de la corriente de fase  $i_{WA}$ :

$$\theta = f_2(i_{WA}, \psi_A) \quad (2)$$

5 Esto significa que el par  $T_{WA}$  se puede expresar como una función del flujo magnético  $\psi$  que circula a través del circuito magnético correspondiente y la corriente de fase  $i_{WA}$ :

$$T_{WA} = f_3(i_{WA}, \psi_A) \quad (3)$$

10 Como se ha mencionado más arriba, la corriente  $i_{WA}$  que circula a través de un devanado de fase se controla para obtener un par deseado  $T_W$  de los devanados de fase activados, como se muestra en la figura 2B. El par que se obtiene es una función en parte de la corriente de devanado  $i_{WA}$  y en parte del flujo magnético. El flujo magnético  $\psi$  depende a su vez de la inductancia  $L_{WA}$  y de la corriente  $i_{WA}$ . Por consiguiente,  $T_{WA}$  depende de  $i_{WA}$  y de  $L_{WA}$ :

$$T_{WA} = f_4(i_{WA}, L_{WA}) \quad (4)$$

La inductancia  $L_{WA}$  puede ser determinada por integración en el tiempo, como se describe en el documento US 5.043.643:

$$15 \quad L_A(t_1) = 1/i(t_1) * \int_{t_0}^{t_1} (U_{WA} - i_{WA} R_{WA}) dt \quad (5)$$

en el que:

$t_0$  es el momento en el tiempo en el que la válvula  $T_{3A}$  está dispuesta para conducir, de manera que proporcione un voltaje a través del devanado.

20  $t_1$  es el momento en el tiempo en el que la corriente de medición ha alcanzado el valor predeterminado.

En ciertas condiciones de control, la inductancia  $L_{WA}$  puede ser determinada por una versión simplificada de la ecuación (5). De hecho, la inductancia momentánea  $L_{WA}$  se puede calcular como:

$$L_A(t_1) = 1/i(t_1) * U_{WA} * (t_1 - t_0) \quad (6)$$

25 Una buena estimación de la posición del rotor  $\theta$  y del par disponible se pueden calcular a partir de este valor de la inductancia  $L_A(t_1)$  y de la fase de la corriente  $i_{WA}$ .

#### Una segunda realización de un procedimiento de medición de la corriente

30 De acuerdo con otra realización, la inductancia (y la posición) se pueden determinar midiendo la cantidad de tiempo que tarda la corriente en disminuir desde un cierto valor inicial a un cierto valor de interrupción. Una medición de este tipo se puede realizar utilizando el sexto estado de trabajo que se ha descrito más arriba. El cierto valor de interrupción para la corriente de prueba puede ser cero, o un nivel adecuado distinto de cero.

35 La figura 6 es una realización alternativa de un puente de válvula. La realización de la figura 6 corresponde esencialmente a la realización de la figura 4A. En la realización de la figura 6, sin embargo, la circuitería se simplifica mediante el uso de comparadores para indicar cuando se obtienen ciertos valores límite. Como se ilustra en la figura 6, un comparador 200 compara el voltaje en el sensor  $S_{3A}$  con un valor de referencia obtenido por un divisor de voltaje 210. Un divisor de voltaje 215 proporciona una amplitud de voltaje definida para el devanado, incluso si todas las válvulas se encuentran en estado no conductor, y un comparador 220 está dispuesto para detectar la amplitud. Un comparador 230 indica si el sensor  $S_{1A}$  o  $S_{2A}$  detecta la corriente más alta. Una pluralidad de puentes de válvulas de acuerdo con la figura 6 puede ser acoplada a un controlador 100 como se ha descrito en relación con la figura 3.

40

**REIVINDICACIONES**

1. Un circuito de control para una máquina de reluctancia que tiene dos partes mutuamente amovibles, y al menos un devanado inductivo de fase ( $W_A, W_B, W_C$ ), cuya inductancia ( $L_{WA}, L_{WB}, L_{WC}$ ) depende de la posición mutua de las partes, comprendiendo el circuito de control:
  - 5 un primer terminal (80) y un segundo terminal (90) para la conexión a una fuente de energía (70); estando acoplado el devanado de fase ( $W_A$ ) entre el primer terminal (80) y el segundo terminal (90) a través de un circuito en puente (85A, 85B, 85C); teniendo el citado circuito en puente (85A):
    - 10 válvulas de accionamiento ( $T1_A, T2_A$ ) para disponer el devanado en un modo de accionamiento para hacer que una corriente de accionamiento circule a través del devanado de fase ( $W_A$ ), teniendo la corriente de accionamiento un cierto valor máximo, y
      - un sensor de corriente ( $S3_A$ ) para medir una corriente de prueba cuando el devanado está en un modo de no accionamiento, en el que
        - el circuito de control incluye:
          - 15 un medio para establecer la citada posición mutua que depende de un valor de corriente y / o de un valor de tiempo medidos; estando adaptado el citado medio de establecimiento de la posición para establecer la citada posición mutua dependiendo de la citada corriente de prueba;

**que se caracteriza porque**

  - 20 el sensor de corriente es un sensor de corriente de prueba ( $S3_A$ ) que está adaptado para la medición de las corrientes de prueba que tienen un segundo valor máximo menor que el citado valor máximo determinado;
 

**porque**

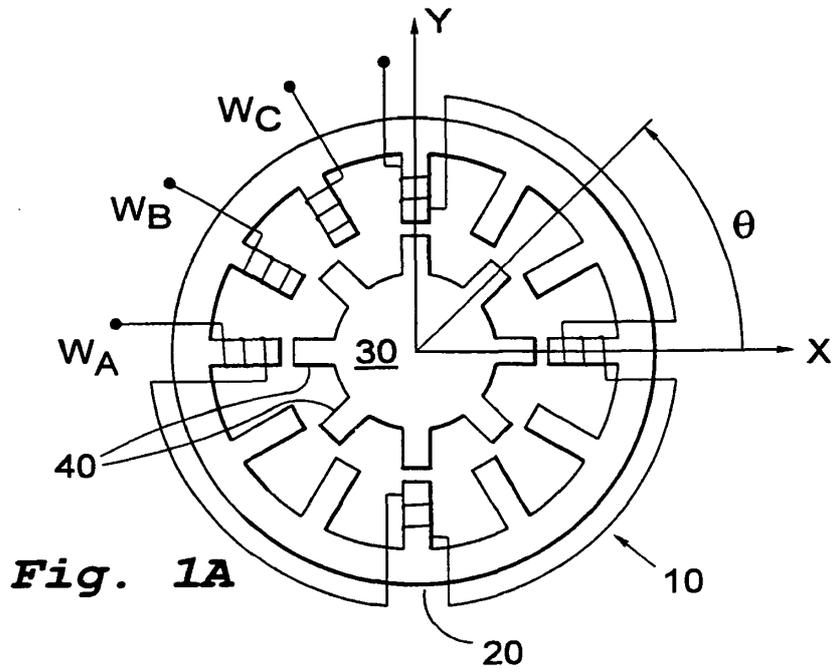
    - 25 el circuito en puente (85A) incluye una válvula de prueba ( $T3_A, T3_B, T3_C$ ), diferente de las citadas válvulas de accionamiento ( $T1_A, T2_A$ ), adaptada para hacer que la corriente de prueba circule a través del devanado y a través del citado sensor de corriente de prueba ( $S3_A, S3_B, S3_C$ ) durante un modo de no accionamiento; estando conectada en serie la citada válvula de prueba ( $T3_A, T3_B, T3_C$ ) con el citado sensor de corriente de prueba ( $S3_A, S3_B, S3_C$ );
 

**y porque**

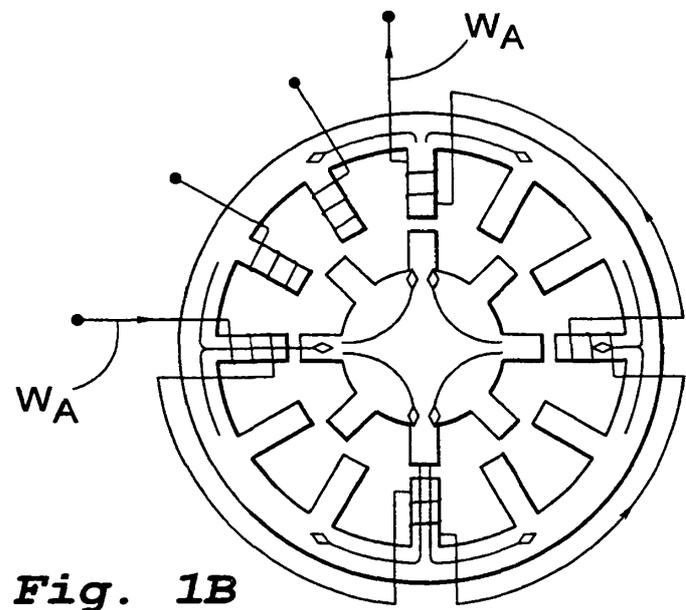
      - el circuito de control está adaptado para controlar las válvulas ( $T1_A, T2_A, T3_A$ ) de manera que impida que la citada corriente de accionamiento circule a través del sensor de corriente de prueba ( $S3_A$ ).
- 30 2. El circuito de control de acuerdo con la reivindicación 1, en el que las citadas válvulas de accionamiento incluyen:
  - una primera válvula de accionamiento ( $T1_A$ ) que está adaptada para acoplar el citado primer terminal (80) a un extremo del devanado ( $W_A$ ), y
    - 35 una segunda válvula de accionamiento ( $T2_A$ ) en serie con un segundo sensor de corriente ( $S2_A$ ), estando acoplados la citada segunda válvula de accionamiento ( $T2_A$ ) y el citado segundo sensor de corriente ( $S2_A$ ) entre el otro extremo del devanado ( $W_A$ ) y el citado segundo terminal (90).
- 40 3. El circuito de control de acuerdo con la reivindicación 2, en el que
  - la citada conexión en serie de la citada válvula de prueba ( $T3_A, T3_B, T3_C$ ) y el citado sensor de corriente de prueba ( $S3_A, S3_B, S3_C$ ) están conectados en paralelo con la citada conexión en serie del citado segundo transistor de accionamiento ( $T2_A$ ) y el citado segundo sensor de corriente ( $S2_A$ ).
4. El circuito de control de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además:
  - un sensor Hall ( $S_{WA}$ ) conectado en serie con el devanado ( $W_A$ ) para medir la citada corriente de accionamiento o para determinar cualesquiera flujos de corriente a través del devanado ( $W_A$ ).
5. El circuito de control de acuerdo con la reivindicación 1, en el que
  - el citado segundo valor máximo es el 5 por ciento del valor máximo de la corriente de accionamiento ( $iW_{max}$ ).
- 45 6. El circuito de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **que se caracteriza porque**
  - el citado sensor de corriente de prueba ( $S3_A$ ) tiene una resistencia, siendo seleccionada la citada resistencia de tal manera que la relación entre la resistencia en el sensor de corriente de prueba y la resistencia en el devanado correspondiente ( $W_A$ ) sea mayor que 1/2.

7. El circuito de control de acuerdo con la reivindicación 6, **que se caracteriza porque** la resistencia en el sensor de corriente de prueba ( $S_{3A}$ ) se selecciona de manera que la citada relación sea superior a 1/1.
8. El circuito de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende, además:
- 5 un medio para establecer una velocidad de cambio de la corriente de prueba en respuesta al citado valor de tiempo y al citado valor de corriente; siendo indicativa la citada velocidad de cambio de la inductancia momentánea del devanado.
9. El circuito de control de acuerdo con la reivindicación 8, en el que:
- 10 el citado medio de establecimiento de posición está adaptado para establecer la citada posición mutua dependiendo de la citada velocidad de cambio.
10. El circuito de control de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que la relación entre el valor máximo de la corriente de accionamiento ( $i_{Wmax}$ ) y el valor máximo de corriente de prueba ( $i_{prueba\_max}$ ) es superior a 20.
11. Un procedimiento de funcionamiento de un circuito de control para una máquina de reluctancia que tiene dos partes mutuamente amovibles, y al menos un devanado inductivo de fase ( $W_A$ ) adaptado para un cierto valor máximo de la corriente de accionamiento, en el que el circuito de control incluye un circuito en puente (85A) que tiene válvulas de accionamiento ( $T_{1A}$ ,  $T_{2A}$ ), y una válvula de prueba ( $T_{3A}$ ) diferente de las citadas válvulas de accionamiento ( $T_{1A}$ ,  $T_{2A}$ ), estando conectada en serie la válvula de prueba ( $T_{3A}$ ) con un sensor de corriente de prueba ( $S_{3A}$ ); comprendiendo el procedimiento los pasos de:
- 20 detectar si el devanado de fase se encuentra en un modo de accionamiento o en un modo de no accionamiento;
- hacer que una corriente de prueba, que tiene un segundo valor máximo más bajo que el citado un cierto valor máximo, circule a través del devanado de fase ( $W_A$ ,  $W_B$ ,  $W_C$ ) y a través del citado sensor de corriente de prueba ( $S_{3A}$ ) cuando el devanado se encuentra en el modo de no accionamiento;
- 25 establecer una posición mutua que depende de la salida del citado sensor de corriente de prueba ( $S_{3A}$ ); comprendiendo el procedimiento, además, los pasos de:
- controlar la citada válvula de prueba ( $T_{3A}$ ,  $T_{3B}$ ,  $T_{3C}$ ) para hacer que la corriente de prueba circule a través del devanado y a través del citado sensor de corriente de prueba ( $S_{3A}$ ,  $S_{3B}$ ,  $S_{3C}$ ) durante el citado modo de no accionamiento;
- 30 y
- controlar la citada válvula de prueba ( $T_{3A}$ ,  $T_{3B}$ ,  $T_{3C}$ ) para impedir que la citada corriente de accionamiento circule a través del sensor de corriente de prueba ( $S_{3A}$ ) durante el citado modo de funcionamiento.
12. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11, que comprende, además, el paso de:
- 35 realizar la prueba, cuando el devanado de fase ( $W_A$ ) se encuentra en un modo de no accionamiento, si el devanado está inactivo.
13. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 12, en el que:
- 40 la prueba implica mediciones de niveles de voltaje en ambos extremos del devanado de fase ( $W_A$ ) utilizando una red de resistores de impedancia elevada conectada a un terminal de tierra (90) y a un terminal de polo positivo de voltaje de CC (80) con el fin de proporcionar niveles de voltaje definidos en ambos extremos del devanado incluso cuando no circula corriente por el devanado.
14. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11, que comprende, además, el paso de:
- establecer una velocidad de cambio de la corriente de prueba en respuesta a la citada salida del sensor de corriente; siendo indicativa la citada velocidad de cambio de la inductancia momentánea del devanado.
- 45 15. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11, en el que el citado segundo valor máximo es el 5 por ciento del valor máximo de la corriente de accionamiento ( $i_{Wmax}$ ).

16. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 15, **que se caracteriza por** medir el tiempo hasta que la citada corriente de prueba alcanza un cierto valor de corriente, o establecer un cambio en el valor de la corriente de prueba durante un tiempo determinado.
- 5 17. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 16, que comprende, además, el paso de:
- establecer una velocidad de cambio de la corriente de prueba en respuesta al citado valor de tiempo y al citado valor de corriente; siendo indicativa la citada velocidad de cambio de la inductancia momentánea del devanado.
18. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 17, en el que:
- 10 la citada posición mutua es establecida dependiendo de la citada velocidad de cambio.
19. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 18, que comprende, además, los pasos de:
- controlar la corriente de accionamiento y la corriente de prueba de tal manera que la relación entre el valor máximo de la corriente de accionamiento y el valor máximo de la corriente de prueba sea mayor que 20.
- 15



**Fig. 1A**



**Fig. 1B**

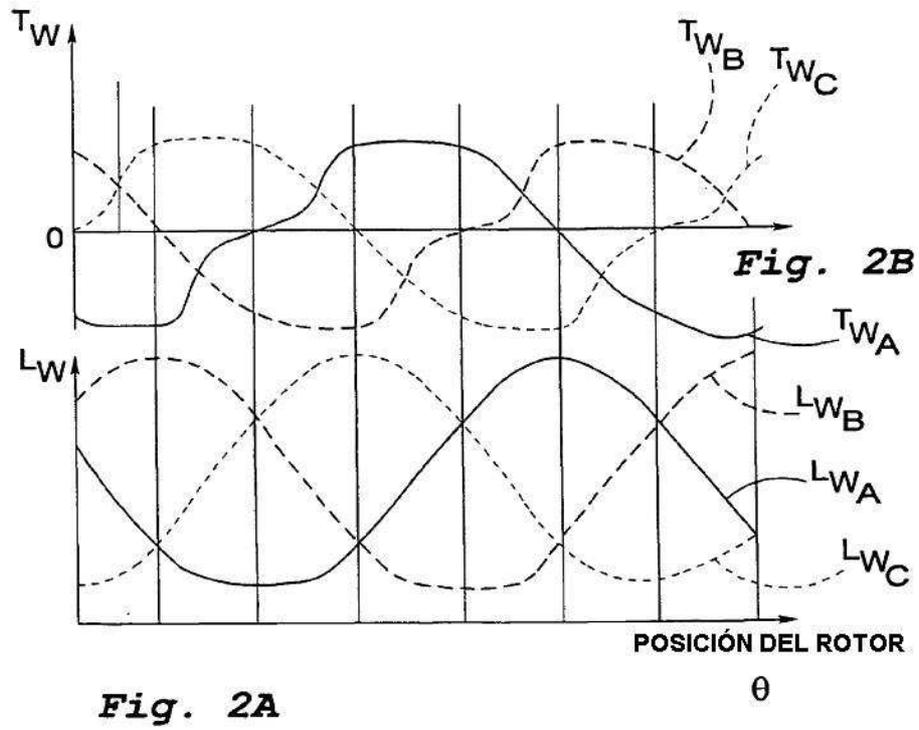


Fig. 2A

Fig. 2B

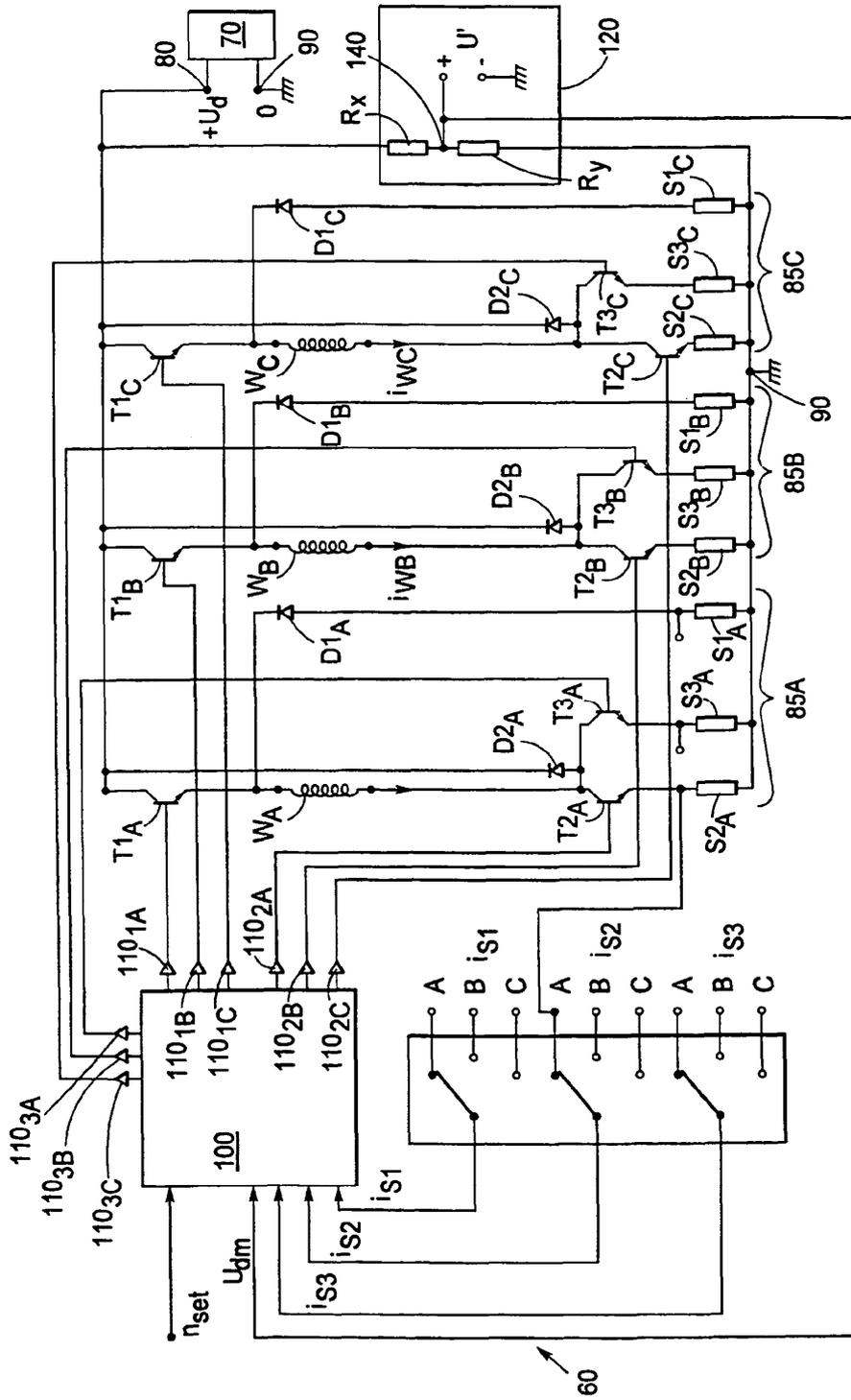
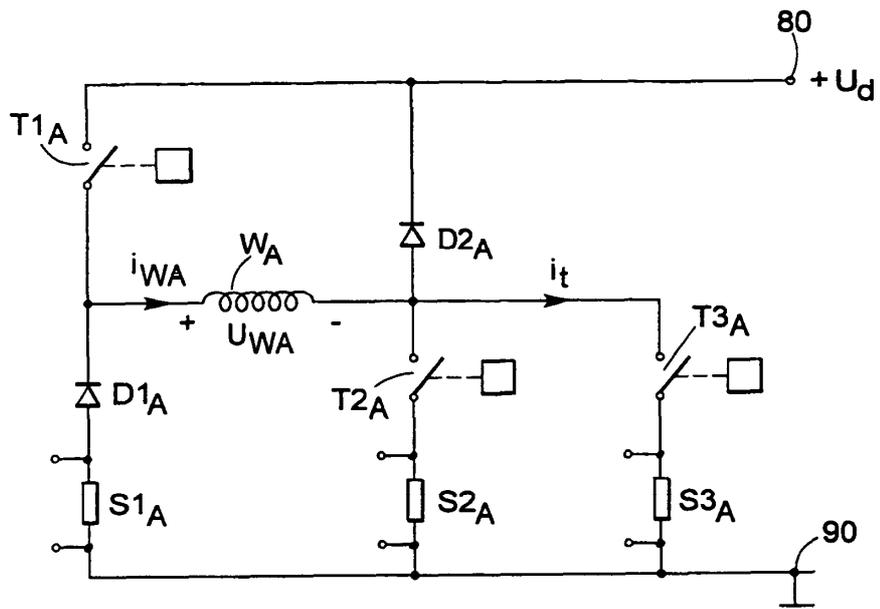
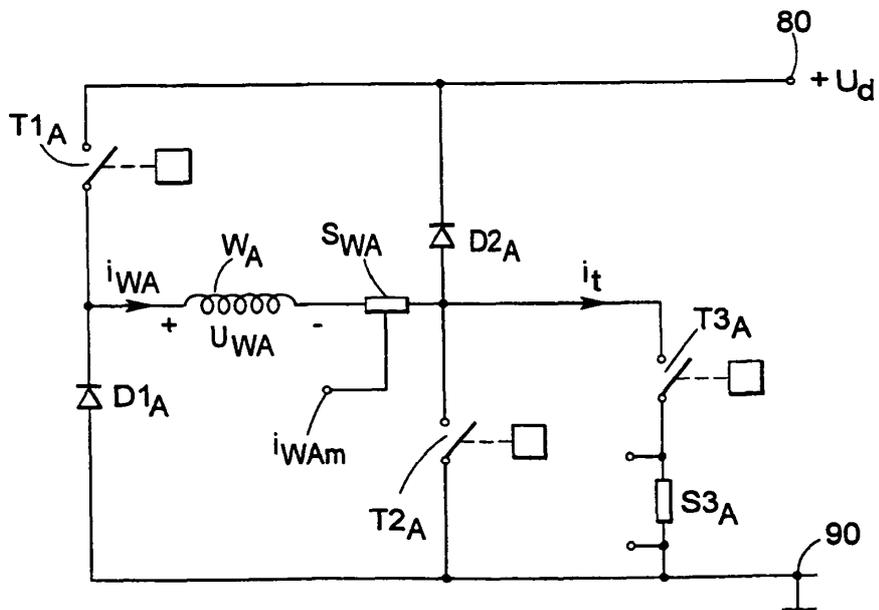


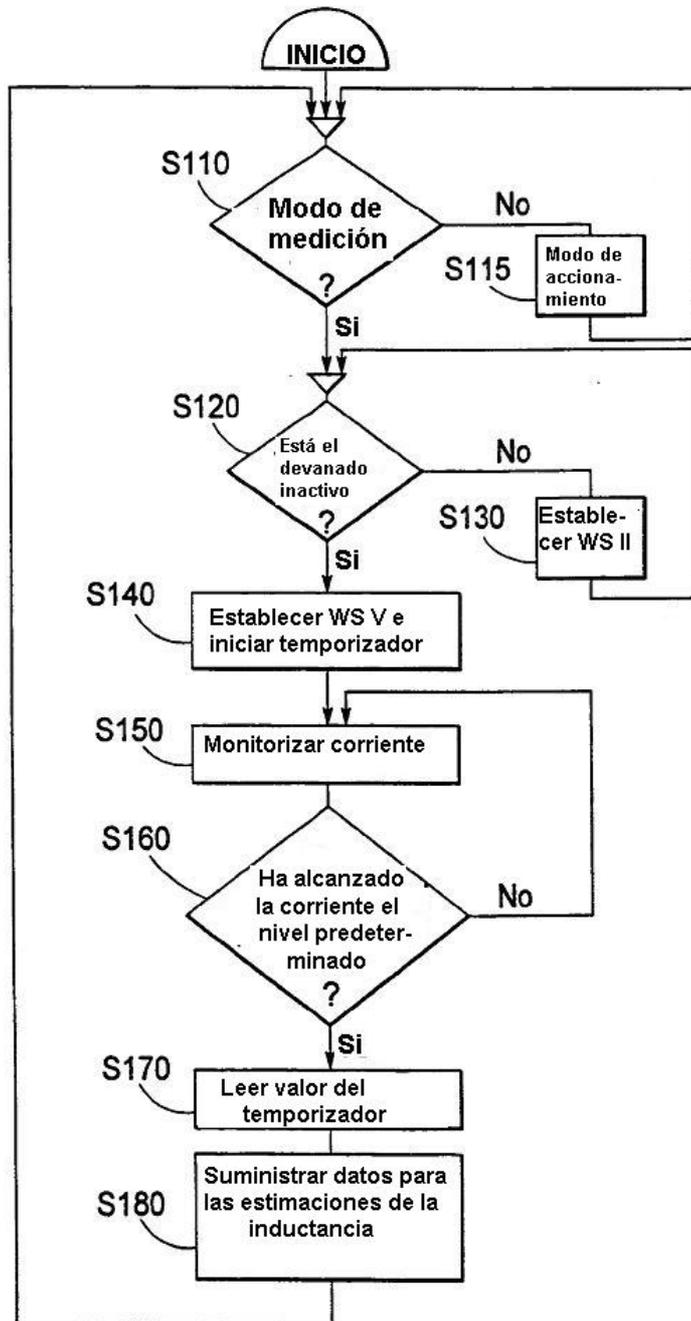
Fig. 3



**Fig. 4A**



**Fig. 4B**



**Fig. 5**

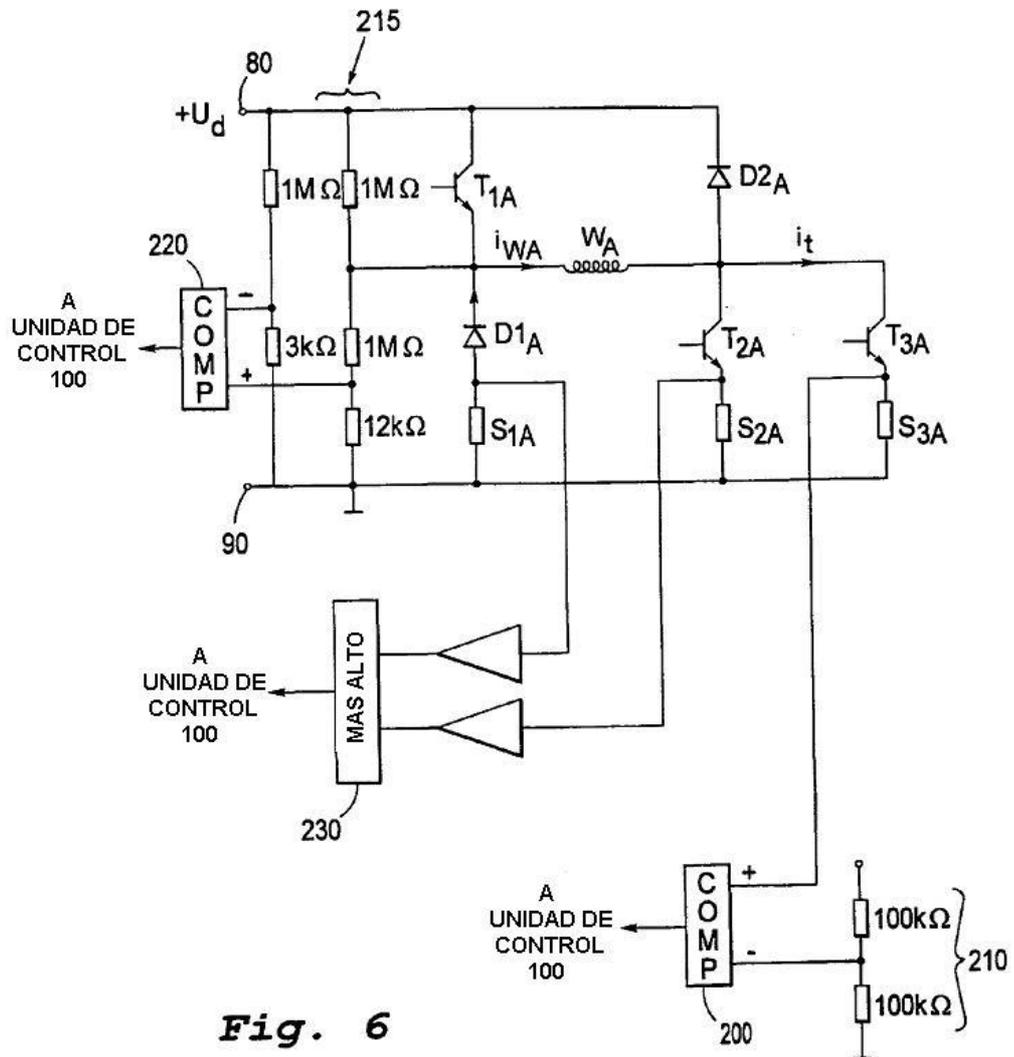


Fig. 6