

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 638 942**

51 Int. Cl.:

**H02P 21/22** (2006.01)

**H02P 6/10** (2006.01)

**H02P 21/05** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.07.2013 PCT/FR2013/051788**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.02.2014 WO14023888**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.07.2013 E 13756597 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.06.2017 EP 2880756**

54 Título: **Sistema de control de par electromagnético de una máquina eléctrica principalmente para vehículo automóvil**

30 Prioridad:

**06.08.2012 FR 1257616**

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

**24.10.2017**

73 Titular/es:

**RENAULT S.A.S. (100.0%)  
13-15 quai Le Gallo  
92100 Boulogne-Billancourt, FR**

72 Inventor/es:

**MALOUM, ABDELMALEK y  
MERIENNE, LUDOVIC**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 638 942 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Sistema de control de par electromagnético de una máquina eléctrica principalmente para vehículo automóvil

5 La invención concierne a un procedimiento de control de un par electromagnético de una transmisión de un vehículo automóvil dotado de una máquina eléctrica de arrastre, y principalmente de una transmisión híbrida de un vehículo automóvil dotado de un motor térmico y de una máquina eléctrica de arrastre.

10 Una transmisión híbrida incluye generalmente dos árboles primarios concéntricos que tienen cada uno al menos un piñón de descenso sobre un árbol secundario unido a las ruedas del vehículo y, un primer medio de acoplamiento entre los dos árboles primarios pudiendo ocupar tres posiciones: una primera en la que el motor térmico está desacoplado de la cadena cinemática que une la máquina eléctrica a las ruedas, una segunda en la que el motor térmico arrastra las ruedas independientemente de la máquina eléctrica, y una tercera en la que el motor térmico y la máquina eléctrica están acoplados de manera que sumen en la dirección de las ruedas sus pares respectivos.

15 Hay igualmente tres posiciones para unir el árbol primario ligado al motor eléctrico con el árbol secundario: una primera en la que el motor eléctrico no está directamente acoplado al secundario, una segunda en la que el motor eléctrico está directamente ligado al secundario con una primera relación, y una tercera en la que el motor eléctrico está directamente ligado al secundario con una segunda relación.

En el caso donde únicamente la máquina eléctrica suministra el par de tracción al vehículo automóvil, es decir en un caso de tracción puramente eléctrica, en un vehículo automóvil de tracción puramente eléctrica, el par suministrado por la máquina eléctrica debe estar controlado. Estando ligado el par de una máquina eléctrica directamente a las corrientes que circulan por esta, estas corrientes deben estar controladas de forma precisa.

20 En una máquina eléctrica, principalmente una máquina síncrona trifásica de imanes permanentes y con flujo axial, las corrientes en las tres fases del estator son sinusoidales y desfasadas cada una en  $\frac{2\pi}{3} rad$ . Estas corrientes crean un campo magnético rotatorio en la máquina eléctrica. El rotor está compuesto por imanes permanentes, por ejemplo, entre 1 y 5 pares de polos. Como una brújula, el rotor se alinea naturalmente con el campo magnético rotatorio creado por el rotor. Así, la frecuencia de rotación del rotor es igual a la frecuencia de las corrientes del estator (síncrono). Son las amplitudes de las corrientes del estator y la potencia de los imanes del rotor los que crean el par necesario para la rotación de la máquina. Para controlar estas corrientes, hace falta por tanto aplicar a cada fase del estator unas tensiones sinusoidales desfasadas en  $\frac{2\pi}{3} rad$  cada una igualmente.

30 Generalmente, es más sencillo aplicar una regulación sobre unas constantes que sobre señales sinusoidales. Una transformada de los sistemas trifásicos tal como la transformada de Park es utilizada generalmente para proyectar un sistema trifásico sobre un espacio bidimensional con el fin de encontrarse con un sistema monofásico equivalente. Es por tanto posible transponer las tres corrientes y las tres tensiones sinusoidales del estator relativas a las tres fases de un sistema trifásico en un espacio donde las tres señales sinusoidales de corriente o de tensión se expresan con la forma de dos señales constantes de corriente o de tensión, una sobre el eje directo  $X_d$  y la otra sobre el eje en cuadratura  $X_q$ . Para ello, la referencia de Park se apoya en una referencia ligada al campo rotatorio, o bien en el caso de la máquina síncrona a una referencia ligada al rotor.

35 Trabajando con corrientes y tensiones expresadas en el espacio de Park, es por tanto posible actuar sobre unas corrientes o unas tensiones constantes más que sobre señales sinusoidales para regular la máquina trifásica que se quiere controlar.

40 Haciendo la transformada inversa, es posible llegar a la referencia normal de la máquina y por tanto saber exactamente qué tensiones o que corrientes aplicar sobre cada fase de la máquina.

La utilización de una batería como alimentación de la máquina eléctrica trifásica impone unas restricciones suplementarias ya que las tensiones aplicables están limitadas por las capacidades de la batería. En efecto no es posible alcanzar algunas consignas a causa de estas limitaciones. Una consigna fuera del espacio alcanzable es generalmente generadora de inestabilidad.

45 Un objetivo de la invención es asegurar la estabilidad de las corrientes en la máquina durante su regulación a pesar de las limitaciones en tensión.

Si, con estas restricciones, las consignas permanecen inalcanzables entonces el objetivo es entonces aproximarse al máximo a la consigna.

50 El documento FR2919772 describe un procedimiento de control de una máquina síncrona de imanes permanentes en la que la saturación es evitada modificando el funcionamiento del módulo de modulación de anchura de fase (PWM) asegurando las tensiones en cada rama del motor. En este procedimiento de control conocido, el par electromagnético accesible por la máquina síncrona está reducido con el fin de evitar la saturación en tensión, principalmente controlando directamente una componente de corriente en el espacio de Park.

En general, para controlar la componente cuadrática de la corriente, se utiliza una cartografía que da la componente directa de la corriente en función de la consigna de la componente cuadrática a alcanzar. Este método presenta la desventaja de tener que hacer una campaña de puesta a punto de las cartografías de las corrientes. Además, nada permite asegurar la obtención de corrientes óptimas para un par electromagnético dado. En efecto, con este método cartográfico, para asegurar que no se entra en unas condiciones de saturación de tensión, se prevé un margen de seguridad sobre el valor de la componente directa de corriente, es decir que la componente directa de corriente está disminuida más de lo necesario con el fin de no correr el riesgo de tener saturaciones del control del sistema. Este margen de seguridad se realiza en detrimento del rendimiento de la máquina.

Dicha reducción de la componente directa de la corriente implica una reducción de las tensiones y por tanto una disminución del par electromagnético accesible.

La invención se propone suministrar un procedimiento de control del par electromagnético de una máquina eléctrica de imanes permanentes que permita asegurar la estabilidad de las corrientes en la máquina eléctrica cualquiera que sea el régimen de la máquina eléctrica y con unas ganancias constantes predeterminadas del regulador.

Según un aspecto de la invención, se propone en un modo de realización un sistema de control del par electromagnético de una máquina eléctrica trifásica de imanes permanentes, incluyendo unos medios de medida de la corriente suministrada en las tres fases de la máquina, unos medios de transposición aptos para transponer las tres corrientes medidas en una componente directa y una componente cuadrática de corriente a partir de una transformada de los sistemas trifásicos, unos medios de transformación aptos para convertir una consigna de par en una consigna para la componente cuadrática de corriente y una consigna para la componente directa de corriente, unos medios de determinación de las tensiones de control, y unos medios de control aptos para aplicar las tensiones de control determinadas a la máquina eléctrica.

Según una característica general de la invención, los medios de determinación incluyen un primer módulo de cálculo que recibe dichas componentes directas y cuadrática de corriente así como dichas consignas, el primer módulo de cálculo es apto para aplicar un cambio de variables y para suministrar un conjunto de variables de control a un módulo de regulación apto para suministrar unos parámetros de control calculados a partir de un sistema de ecuaciones en función de las variables de control, el sistema de ecuaciones que aísla los términos de las perturbaciones debidas al flujo generado por los imanes del rotor de la máquina eléctrica de los términos que contribuyen al par electromagnético, y un segundo módulo de cálculo apto para calcular las tensiones de control a partir de las componentes directa y cuadrática de tensión determinadas a partir de los parámetros de control.

El cambio de variable permite transformar el sistema de ecuación que regula el par electromagnético expresado en el espacio de Park en un sistema de ecuaciones que incluyen unas variables endógenas propias al par electromagnético y unas variables exógenas propias a las perturbaciones debidas al flujo. Este cambio de variable permite así aislar en frecuencia las perturbaciones del control del par electromagnético y por tanto compensar las perturbaciones.

Este sistema de control permite igualmente disminuir las ondulaciones de corriente de la máquina eléctrica, y así alisar el par electromagnético de la máquina eléctrica.

La transformada de los sistemas trifásicos puede ser una transformada de Park. Puede igualmente ser una transformada de Fortescue, una transformada de Clarke, o una transformada de Ku.

En el espacio de Park, las variables incluyen una componente directa y una componente cuadrática aplicadas sobre los dos ejes del plano de Park (eje directo y eje en cuadratura) de la máquina síncrona. Las componentes directa y cuadrática de tensión se expresan en función de la componente directa y de la componente cuadrática de corriente de la máquina síncrona.

Ventajosamente, la máquina síncrona posee una simetría entre el eje directo y el eje en cuadratura del plano de la transformada de los sistemas trifásicos permitiendo obtener una componente directa de inductancia equivalente sensiblemente equivalente a la componente cuadrática de inductancia equivalente.

Esta simetría puede ser obtenida durante la fabricación de la máquina eléctrica utilizando polos lisos y que no sobresalgan. Permite expresar el par electromagnético de la máquina eléctrica en función de un factor único de flujo debido a los imanes de la máquina eléctrica.

En el espacio de Park, el sistema de ecuaciones que regulan se expresa a partir de las variables de control según la expresión:

$$\begin{cases} U_d = R_s X_d + \frac{L_s}{3} \dot{X}_d + P_d(t) \\ U_q = R_s X_q + L_q \dot{X}_q + P_q(t) \end{cases}$$

Con  $L_s=L_d=L_q$  una inductancia equivalente, y  $R_s=R_d=R_q$  una resistencia equivalente,  $X_d = I_q^3 + I_d^3$  y  $X_q = I_q - I_d$ , representando  $I_d$  la componente directa de corriente suministrada por la máquina eléctrica e  $I_q$  su componente cuadrática, y  $U_d = I_d^2 V_d + I_q^2 V_q$  e  $U_q = -V_d + V_q$ , representando  $V_d$  la componente directa de la tensión en bornas de la máquina eléctrica y  $V_q$  su componente cuadrática.

$$P_d(t) = -\omega_r I_q [L_s I_d (I_q - I_d) + \phi_f]$$

y

$$P_q(t) = \omega_r [L_s (I_d + I_q) + \phi_f]$$

10 corresponden respectivamente a la componente directa y componente cuadrática de las perturbaciones expresadas en el espacio de Park,  $\Phi_f$  representa el flujo generado por los imanes de la máquina, y  $\omega_r$  representa la velocidad de rotación del campo magnético de la máquina.

Los parámetros de control, a partir de los cuales se determinan las componentes cuadrática y directa de tensión y las tensiones de control, son calculadas a partir de la expresión:

$$\begin{cases} U_d = K_d (\dot{X}_d^{req} - X_d) + K_{id} \int (X_d^{req} - X_d) dt \\ U_q = K_q (\dot{X}_q^{req} - X_q) + K_{iq} \int (X_q^{req} - X_q) dt \end{cases}$$

15 Con  $K_d$ ,  $K_{id}$ ,  $K_q$ ,  $K_{iq}$  representan unas ganancias constantes predeterminadas, y  $X_d^{req} = (I_q^{req})^3 + (I_d^{req})^3$  y  $X_q^{req} = I_q^{req} - I_d^{req}$ , representando  $I_d^{req}$  la consigna de corriente de la componente directa e  $I_q^{req}$  la consigna de corriente de la componente cuadrática.

20 Según otro aspecto de la invención, se propone en un modo de realización un procedimiento de control del par electromagnético de una máquina eléctrica trifásica de imanes permanentes, incluyendo la medida de la corriente suministrada sobre las tres fases de la máquina eléctrica, una transposición de tres corrientes medidas en una componente directa y una componente cuadrática de corriente a partir de una transformada de los sistemas trifásicos, la recepción de dos consignas para la componente cuadrática y la componente directa de corriente en el plano ligado a la transformada de los sistemas trifásicos, una determinación de las tensiones de control, y un control de las tensiones a aplicar a la máquina eléctrica, caracterizada por que la determinación de las tensiones de control incluye un cambio de variable que suministra unas variables de control, una regulación de los parámetros de control calculadas a partir un sistema de ecuaciones expresado en función de las variables de control, el sistema de ecuaciones que aísla los términos de perturbaciones debidas al flujo generado por los imanes del rotor de la máquina eléctrica de los términos que contribuyen al par electromagnético, y un cálculo de las tensiones de control a partir de las componentes directa y cuadrática de tensión determinadas a partir de parámetros de control.

30 Otras ventajas y características de la invención aparecerán con el examen de la descripción detallada de un modo de ejecución y de un modo de realización, nulamente limitativos, y de los dibujos adjuntos, en los que:

35 -la figura 1 presenta un organigrama de un procedimiento de control del par electromagnético de una máquina eléctrica trifásica de imanes permanentes según un modo de ejecución;

-la figura 2 ilustra, de forma esquemática, un sistema de control de un par electromagnético de una máquina eléctrica trifásica de imanes permanentes según un modo de realización de la invención.

40 En la figura 1, está representado un organigrama, según un modo de ejecución de la invención, de un procedimiento de control del par electromagnético de una máquina síncrona trifásica de imanes permanentes.

45 En una primera etapa 110, se mide la corriente  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  para cada una de las tres fases de la máquina síncrona trifásica de imanes permanentes.

En una segunda etapa 120, se aplica la transformada de Park a las tres corrientes medidas  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  de forma que se exprese la corriente suministrada por la máquina eléctrica en una referencia rotatoria según una componente directa  $I_d$  de corriente y una componente cuadrática  $I_q$  de corriente.

50 En el espacio de Park, el sistema de ecuaciones para controlar la máquina síncrona es el siguiente:

$$\begin{cases} V_d = R_s I_d + L_d \dot{I}_d - \omega_r L_q I_q \\ V_q = R_s I_q + L_q \dot{I}_q - \omega_r (L_d I_d + \phi_f) \end{cases} \quad (1)$$

Con  $V_d$  y  $V_q$  las tensiones aplicadas en los dos ejes respectivamente directos y en cuadratura del plano de Park de la máquina eléctrica,  $I_d$  e  $I_q$  las corrientes que circulan en la máquina en los dos ejes respectivamente directo y en cuadratura del plano de Park,  $R_s$  la resistencia equivalente del estator de la máquina,  $L_d$  y  $L_q$  las inductancia equivalentes en cada eje respectivamente directo y en cuadratura del plano de Park de la máquina,  $\omega_r$  la velocidad de rotación del campo magnético de la máquina que equivale a la velocidad de rotación del rotor multiplicada por el número de pares de polos de la máquina, y  $\phi_f$  el flujo generado por los imanes del rotor.

El par electromagnético generado por la máquina síncrona se puede calcular a partir de la siguiente expresión:

$$C_{em} = p(\phi_d I_q - \phi_q I_d) \quad (2)$$

Con  $C_{em}$  el par electromagnético generado por la máquina,  $p$  el número de pares de polos del rotor de la máquina, y  $\phi_d$  y  $\phi_q$  las componentes del flujo generado sobre los ejes respectivamente directo y en cuadratura de la máquina que se expresan con la forma:

$$\phi_d = L_d I_d + \bar{\phi}_f \quad \text{et} \quad \phi_q = L_q I_q \quad (3)$$

En el presente caso, la máquina síncrona posee una simetría entre el eje directo y el eje en cuadratura del espacio de Park que permite obtener la propiedad reseñable  $L_d = L_q$ , y así escribir

$$C_{em} = p \phi_f I_q \quad (4)$$

En dicha máquina, para controlar el par limitando al máximo las pérdidas de joule generadas por la componente directa  $I_d$  de la corriente, hay que prepararse para tener una componente directa  $I_d$  de la corriente más próxima de cero, ya que únicamente la componente cuadrática  $I_q$  contribuye al par electromagnético.

En una etapa 130, se recibe una primera consigna  $I_{q\_req}$  para la componente cuadrática  $I_q$  de corriente y una segunda consigna  $I_{d\_req}$  para la componente directa  $I_d$  de corriente en el plano ligado a la transformada de los sistemas trifásicos.

En una siguiente etapa 140, se aplica un cambio de variables planteando:

$$\begin{aligned} X_d &= I_q^3 + I_d^3 \\ X_d &= I_q - I_d \\ L_s &= L_q = L_d \end{aligned} \quad (5)$$

Lo que permite expresar el sistema de control (1) con la forma:

$$\begin{cases} I_d^2 V_d + I_q^2 V_q = R_s X_d + \frac{L_s}{3} \dot{X}_d - \omega_r I_q [L_s I_d (I_q - I_d) + \phi_f] \\ -V_d + V_q = R_s X_q + L_q \dot{X}_q + \omega_r [L_s (I_d + I_q) + \phi_f] \end{cases} \quad (6)$$

Por otra parte, teniendo en cuenta que  $I_d(I_q - I_d) \neq I_d + I_q \neq X_d \neq X_q$ , es posible escribir planteando  $U_d = I_d^2 V_d + I_q^2 V_q$  y  $U_q = -V_d + V_q$ :

$$\begin{cases} U_d = R_s X_d + \frac{L_s}{3} \dot{X}_d + P_d(t) \\ U_q = R_s X_q + L_q \dot{X}_q + P_q(t) \end{cases} \quad (7)$$

Con  $U_d$  y  $U_q$  unos parámetros de control que incluyen cada uno respectivamente unas variables endógenas que dependen de las variables  $X_q$ ,  $X_d$  o de su derivada que permiten controlar el par electromagnético  $C_{em}$ , y una variable exógena  $P_q(t)$  o  $P_d(t)$  que son las perturbaciones.

Siendo exógenas las variables de perturbaciones  $P_q(t)$  o  $P_d(t)$ , el sistema (7) permite realizar un aislamiento de frecuencia de las perturbaciones respecto de los términos que rigen el par electromagnético.

Así, es posible compensar las perturbaciones y regular el par electromagnético realizando, en una etapa 150, una regulación en los parámetros de control  $U_d$  e  $U_q$ . Esta regulación permite alisar las ondulaciones de las corrientes generadas por la máquina eléctrica. Además, el sistema de ecuación (7) muestra que la regulación de los parámetros de control  $U_d$  e  $U_q$  es realizada sin dependencia del régimen del rotor de la máquina eléctrica.

Los valores de los parámetros de control  $U_d$  e  $U_q$  son calculados a partir del sistema:

$$\begin{cases} U_d = K_d (X_d^{req} - X_d) + K_{id} \int (X_d^{req} - X_d) dt \\ U_q = K_q (X_q^{req} - X_q) + K_{iq} \int (X_q^{req} - X_q) dt \end{cases} \quad (8)$$

Con  $K_d$ ,  $K_{id}$ ,  $K_q$ ,  $K_{iq}$  representando las ganancias constantes predeterminadas y

$$X_d^{req} = (I_q^{req})^3 + (I_d^{req})^3$$

y

$$X_q^{req} = I_q^{req} - I_d^{req}$$

En una etapa 160, se determina los valores de las componentes de tensión  $V_d$  y  $V_q$  aplicadas sobre los dos ejes respectivamente directo y en cuadratura del plano de Park de la máquina eléctrica a partir de los parámetros de control  $U_d$  y  $U_q$  y del sistema matricial:

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_d^2 & I_q^2 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} U_d \\ U_q \end{bmatrix} \quad (9)$$

Se aplica después, en una etapa 170, una transformada inversa de Park a partir de las componentes directa y cuadrática de la tensión  $V_d$  y  $V_q$ , de manera que se obtengan los valores de las tensiones de control  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  del inversor acoplado entre la batería de alimentación del vehículo automóvil y la máquina eléctrica.

En una etapa final 180, se aplica en los bordes de la máquina eléctrica las tensiones  $U_{12}$ ,  $U_{23}$ ,  $U_{31}$  generadas por el inversor aparte de la tensión monofásica  $V_{bat}$  de la batería y de los valores de las tensiones de control  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ .

En la figura 2 está ilustrado un sistema de control del par electromagnético en una máquina eléctrica trifásica de imanes permanentes implementando el procedimiento de control según la invención, según un modo de realización de la invención.

El sistema de control 1 de par electromagnético de una máquina síncrona 10 trifásica de imanes permanentes incluye unos medios de medida 2 de corriente suministrada en las tres fases  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ , de la máquina eléctrica 10. Estos medios de medida 2 están acoplados a unos medios de transposición 3 que permiten transponer las tres

corrientes medidas en una componente directa  $I_d$  y una componente cuadrática  $I_q$  de corriente a partir de la transformada de Park. El sistema de control 1 incluye igualmente unos medios de transformación 4 aptos para convertir la consigna de par  $C_{em}^{req}$  en consigna  $I_q^{req}$  para la componente cuadrática  $I_q$  de corriente y en consigna  $I_d^{req}$  para la componente directa  $I_d$  de corriente, y de los primeros medios de cambio de variable 5 aptos para determinar nuevas variables de corriente  $X_q$  y  $X_d$  y nuevas consignas de corriente  $X_d^{req}$  y  $X_q^{req}$  a partir de las componentes directa y cuadrática de corriente  $I_d$  e  $I_q$  y de las consignas correspondientes  $I_{d\_req}$  e  $I_{q\_req}$  y de las ecuaciones:

$$X_d = I_q^3 + I_d^3$$

y

$$X_q = I_q - I_d$$

y

$$X_d^{req} = (I_q^{req})^3 + (I_d^{req})^3$$

y

$$X_q^{req} = I_q^{req} - I_d^{req}$$

El sistema de control 1 incluye un regulador 6 apto para determinar unos parámetros de control  $U_d$  y  $U_q$  que incluyen cada uno respectivamente unas variables endógenas que dependen de las variables  $X_q, X_d$  o de su derivada y permiten controlar el par electromagnético  $C_{em}$ , y una variable exógena  $P_q(t)$  o  $P_d(t)$  que representa unas perturbaciones debidas al flujo generado por los imanes del rotor, los parámetros de control  $U_d$  y  $U_q$  se expresan según el sistema (7) y están calculados según el sistema (8).

El sistema de control 1 incluye unos medios de determinación 7 de los componentes de tensión  $V_d$  y  $V_q$  aplicados sobre los dos ejes respectivamente directo y en cuadratura del plano de Park de la máquina eléctrica a partir de los parámetros de control  $U_d$  y  $U_q$  y del sistema matricial (9).

Incluye unos medios de transposición inversa 8 aptos para aplicar una transformada inversa de Park a partir de los componentes directo y cuadrático de tensión  $V_d$  y  $V_q$ , de manera que obtenga los valores de tensión de control  $U_1, U_2, U_3$  del inversor 11 acoplado entre la batería 12 de alimentación del vehículo automóvil y la máquina eléctrica 10. Incluye finalmente unos medios de control 9 aptos para controlar el inversor 11 a partir de los valores de las tensiones de control  $U_1, U_2, U_3$  determinadas.

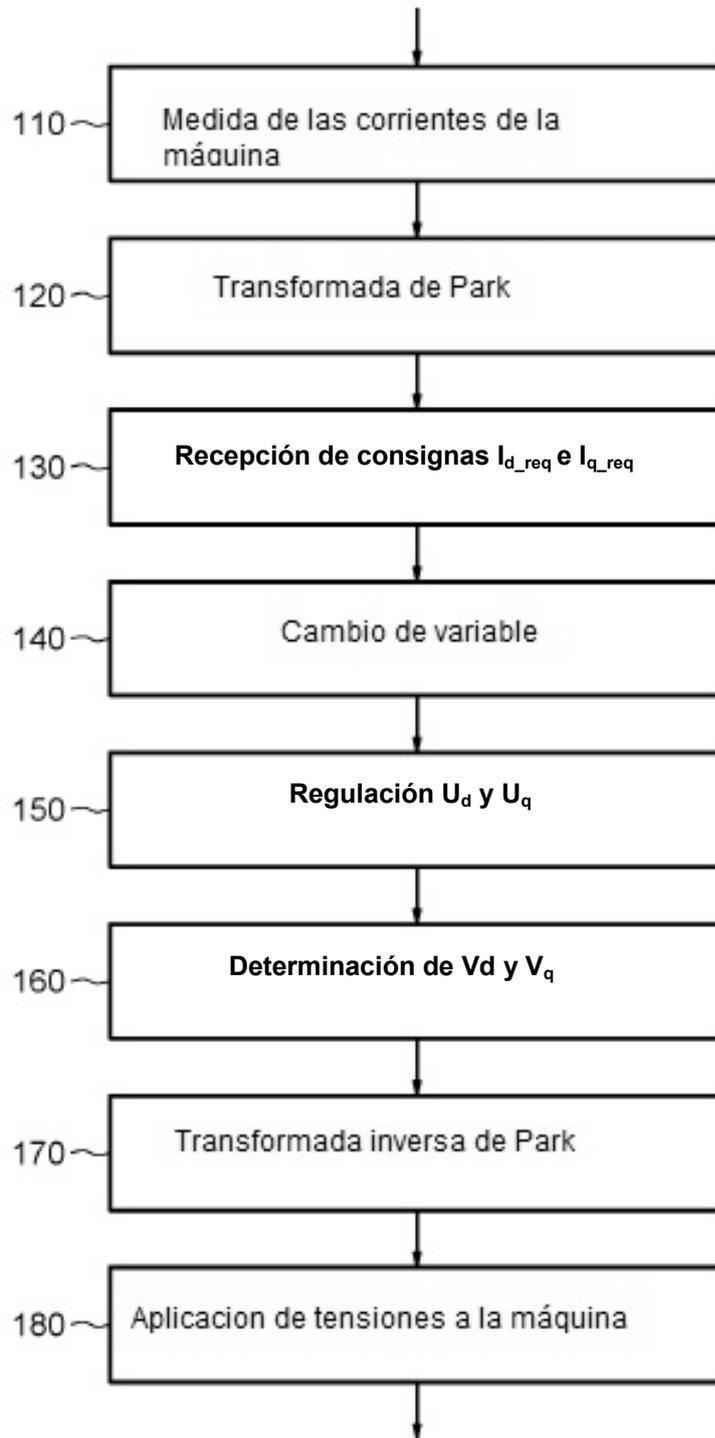
La invención permite por tanto controlar el par electromagnético de una máquina eléctrica de imanes permanentes asegurando la estabilidad de las corrientes en la máquina eléctrica cualquiera que sea el régimen de la máquina eléctrica.

Cabe señalar que la invención es fácilmente extrapolable por el experto a una máquina eléctrica disimétrica entre el eje directo y el eje en cuadratura del espacio de Park y por tanto para la que  $L_d$  es diferente de  $L_q$ , esta extrapolación se efectúa gestionando diferentemente las consignas de corriente según estos dos ejes con el fin de conseguir los pares solicitados.

## REIVINDICACIONES

- 5 1.- Sistema de control (1) de par electromagnético de una máquina eléctrica (10) trifásica de imanes permanentes, incluyendo unos medios de medida (2) de la corriente suministrada en las tres fases de la máquina (10), unos medios de transposición (3) aptos para transponer las tres corrientes medidas en una componente directa ( $I_d$ ) y una componente cuadrática ( $I_q$ ) de corriente a partir de una transformada de los sistemas trifásicos, unos medios de transformación (4) aptos para convertir una consigna de par ( $C_{em}^{req}$ ) en una consigna ( $I_q^{req}$ ) para la componente cuadrática ( $I_q$ ) de corriente y una consigna ( $I_d^{req}$ ) para la componente directa ( $I_d$ ) de la corriente, unos medios de determinación de las tensiones de control ( $U_1, U_2, U_3$ ), y unos medios de control (9) aptos para aplicar las tensiones de control ( $U_1, U_2, U_3$ ) determinadas en la máquina eléctrica (10), caracterizado por que los medios de determinación incluyen un primer módulo de cálculo (5) que recibe dichas componentes directas y cuadrática ( $I_d, I_q$ ) de corriente así como dichas consignas ( $I_{q\_req}$  e  $I_{d\_req}$ ), siendo apto el primer módulo de cálculo (5) para aplicar un cambio de variables y suministrar un conjunto de variables de control ( $X_d, X_q, X_{q\_req}, X_{d\_req}$ ) a un módulo de regulación (6) apto para suministrar unos parámetros de control ( $U_d, U_q$ ) calculados a partir de un sistema de ecuaciones en función de las variables de control ( $X_d, X_q, X_{q\_req}, X_{d\_req}$ ), el sistema de ecuaciones aislando los términos de perturbación ( $P_d, P_q$ ) debidos al flujo generado por los imanes del rotor de la máquina eléctrica (10) de los términos que contribuyen al par electromagnético, y un segundo módulo de cálculo (8) apto para calcular las tensiones de control ( $U_1, U_2, U_3$ ) a partir de las componentes directa y cuadrática de tensión ( $V_d, V_q$ ) determinadas a partir de los parámetros de control ( $U_d, U_q$ ).
- 10 2.- Sistema según la reivindicación 1, en el que la máquina eléctrica (10) posee una simetría entre el eje directo y el eje en cuadratura del plano de la transformada de los sistemas trifásicos permitiendo obtener una componente directa ( $L_d$ ) de inductancia equivalente sensiblemente equivalente a la componente cuadrática ( $L_q$ ) de inductancia equivalente.
- 15 3.- Sistema según una de las reivindicaciones 1 o 2, incluyendo unos medios de transposición (3) aptos para aplicar una transformada de Park a las corrientes medidas para obtener la componente directa ( $I_d$ ) y la componente cuadrática ( $I_q$ ) de corriente.
- 20 4.- Vehículo automóvil equipado con una máquina eléctrica que incluye un sistema de control según una de las reivindicaciones 1 a 3.
- 25 5.- Vehículo automóvil según la reivindicación 4, incluyendo una transmisión híbrida dotada además de un motor térmico.
- 30 6.- Procedimiento de control del par electromagnético de una máquina eléctrica (10) trifásica de imanes permanentes, incluyendo la medida de corriente suministrada en las tres fases de la máquina eléctrica (10), una transposición de las tres corrientes medidas en una componente directa ( $I_d$ ) y una componente cuadrática ( $I_q$ ) de corriente a partir de una transformada de los sistemas trifásicos, la recepción de las dos consignas ( $I_{q\_req}$  y  $I_{d\_req}$ ) para la componente cuadrática ( $I_q$ ) y la componente directa ( $I_d$ ) de corriente en el plano ligado a la transformada de los sistemas trifásicos, una determinación de las tensiones de control ( $U_1, U_2, U_3$ ), y un control de las tensiones aplicar a la máquina eléctrica (10), caracterizada por que la determinación de las tensiones de control ( $U_1, U_2, U_3$ ) incluye un cambio de variable suministrando unas variables de control ( $X_d, X_q, X_{q\_req}, X_{d\_req}$ ), una regulación de los parámetros de control ( $U_d, U_q$ ) calculados a partir del sistema de ecuaciones expresada en función de las variables de control ( $X_d, X_q, X_{q\_req}, X_{d\_req}$ ), el sistema de ecuaciones aísla los términos de perturbaciones ( $P_d, P_q$ ) debidas al flujo generado por los imanes del rotor de la máquina eléctrica (10) de los términos que contribuyen al par electromagnético, y un cálculo de las tensiones de control ( $U_1, U_2, U_3$ ) a partir de los componentes directo y cuadrático de tensión ( $V_d, V_q$ ) determinados a partir de los parámetros de control ( $U_d, U_q$ ).
- 35 7.- Procedimiento según la reivindicación 6, en el que la máquina eléctrica (10) posee una simetría entre el eje directo y el eje en cuadratura del plano de la transformada de los sistemas trifásicos permitiendo obtener una componente directa ( $L_d$ ) de inductancia equivalente sensiblemente equivalente a la componente cuadrática ( $L_q$ ) de inductancia equivalente.
- 40 8.- Procedimiento según una de las reivindicaciones 6 o 7, en el que la transformada de los sistemas trifásicos es una transformada de Park.
- 45 50 55

FIG.1



**FIG.2**

