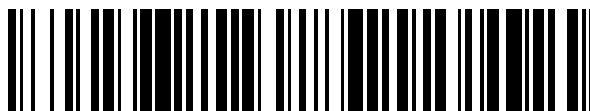


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 373 096**

51 Int. Cl.:

H02P 9/48 (2006.01)

H02P 25/02 (2006.01)

H02P 21/00 (2006.01)

H02P 9/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **01944964 .4**

96 Fecha de presentación: **31.05.2001**

97 Número de publicación de la solicitud: **1305876**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **02.05.2003**

54 Título: **PROCEDIMIENTO PARA LA REGULACIÓN DE UNA MÁQUINA ELÉCTRICA CON UN INVERSOR DE MODULACIÓN DE LA ANCHURA DEL IMPULSO.**

30 Prioridad:
25.07.2000 DE 10036099

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
31.01.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
31.01.2012

73 Titular/es:
**ROBERT BOSCH GMBH
POSTFACH 30 02 20
70442 STUTTGART, DE**

72 Inventor/es:
REUTLINGER, Kurt

74 Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

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

ES 2 373 096 T3

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la regulación de una máquina eléctrica con un inversor de modulación de la anchura del impulso

Campo técnico

- 5 En generador, que se emplean en aplicaciones de vehículos, los requerimientos planteados a la dinámica del par motor son extraordinariamente altos. El par motor no debe crecer demasiado rápidamente en aquellos generadores que deben emplearse en automóviles, puesto que de lo contrario un generador de altas prestaciones podría calar el motor de combustión en el caso extremo. Si se construyen y emplean generadores como generadores de polos intercalados, éstos son accionados con un puente de diodos. No obstante, para el incremento de la potencia existen principios para accionar estas máquinas también en un inversor de modulación de la anchura del impulso. Además del requerimiento de un rendimiento óptimo para todos los puntos de funcionamiento del generador, en este caso se plantea la cuestión de una regulación adecuada del generador en todo el intervalo del número de revoluciones y potencia.

Estado de la técnica

- 15 En casos de aplicación actuales de generadores de polos intercalados, éstos son accionados en la mayor medida posible con puente rectificador B6 conectado a continuación. En este caso, las máquinas eléctricas, como por ejemplo un generador de polos intercalados, ofrecen ventajas, tal como entre otras una posibilidad de fabricación de coste favorable. Las ventajas del principio de generador de polos intercalados deben mantenerse en la mayor medida posible, cuando para el incremento de la potencia de los generadores de polos intercalados utilizados, este tipo de construcción es accionado por generadores con inversores de modulación de la anchura del impulso. De esta manera, los generadores de polos intercalados pueden ser accionados también en el sentido de motor eléctrico. Esto abre perspectivas de empleo interesantes para este tipo de construcción de generador para el proceso de arranque de un automóvil, para la sincronización de la caja de cambios así como para otros casos de aplicación específicos del automóvil.

- 25 Además de un modo de generador de una máquina de polos intercalados, ésta se puede accionar también en el modo de motor, en el que el inversor permanece inalterado por este cambio del modo de funcionamiento. Por medio del regulador, existe una posibilidad de intervención en la máquina eléctrica, a saber, sobre la corriente de excitación y la corriente del estator. De esta manera no sólo se puede realizar un debilitamiento del campo, sino también una circulación inversa en el estator de la máquina eléctrica, vista en dirección longitudinal. Además, a través de la reducción de la corriente de excitación de la rueda polar, se puede establecer un auténtico modo de debilitamiento del campo. En la máquina de polos intercalados existe una disposición uniaxial magnética característica, que depende en gran medida del punto de funcionamiento ajustado y, por lo tanto, influye sobre la capacidad de regulación de una máquina eléctrica de este tipo.

- 35 Se conoce a partir del documento EP 0 762 596 A1 una regulación de generador de automóvil, que prepara una corriente continua, que se puede tomar en una salida de corriente continua. Un arrollamiento trifásico del estator tiene tres terminales de salida; un rotor está acoplado magnéticamente con los arrollamientos del estator, en los que se genera una fuerza electromotriz. Entre la salida de corriente continua y los tres terminales de salida del arrollamiento del estator está conectado un puente rectificador, que es controlado por medio de un control, para controlar el desplazamiento de fases entre la fuerza electromotriz en el arrollamiento del estator y las tensiones de la sección de los terminales de salida del arrollamiento del estator.

- 40 En lugar de diodos en puentes rectificadores se emplean elementos de conmutación controlables, que se pueden activar a través de un dispositivo de activación separado.

- 45 Se conoce a partir del documento DE 198 49 889 A1 un procedimiento para la regulación optimizada en la potencia y en el rendimiento de generadores de corriente trifásica, con un puente convertidor asociado, en particular una máquina sincronizada, en el que se definen al menos tres zonas de regulación, dentro de las cuales se realiza la regulación del generador de acuerdo con diferentes criterios. La fijación de las zonas de regulación se realiza especialmente en función del número de revoluciones y en función de la potencia teórica deseada. La regulación se extiende en este caso tanto sobre la corriente de excitación como también sobre la corriente del estator y se realiza por medio de diferentes reguladores, que pueden intercambiar información entre sí.

Representación de la invención

- 50 Con el procedimiento de regulación propuesto de acuerdo con la invención según la reivindicación 1 para una máquina eléctrica se puede conseguir a través de una sobreexcitación selectiva de la modulación de la anchura del

impulso una transición segura desde el modo de regulación sinusoidal al modo de bloqueo y, además, en una segunda zona de regulación. Puesto que la estrategia de regulación para las zonas de regulación, que se emplean en la máquina de polos intercalados debe tener en cuenta tres zonas de regulación diferentes y sus requerimientos, deben reconocerse los límites de las zonas de regulación adyacentes entre sí, para que se pueda realizar una conmutación desde una estrategia de regulación a la otra sin mayores problemas. Con una y la misma estructura de regulación, que contiene componentes PI, se puede pasar desde la zona de regulación de una regulación orientada al campo a la zona de regulación, en la que se regula después del debilitamiento del campo, sin tener que emplear otro regulador. El cambio de las zonas de regulación se realiza de forma libre de sacudidas y, por lo tanto, de gorma no perceptible para el observador exterior. En oposición a los procedimientos de regulación conocidos hasta ahora, que trabajan en su mayor parte también con tensiones y corrientes que se extienden de forma sinusoidal, en el procedimiento de acuerdo con la invención se pasa a tensiones de bloqueo, que posibilitan un aprovechamiento mejorado de la tensión.

Además de un intervalo de números de revoluciones básico, se puede realizar de forma automática un modo de debilitamiento de campo, puesto que la corriente longitudinal se ajusta de forma automática en la máquina eléctrica en virtud de las propiedades de la máquina. En procedimientos de regulación conocidos hasta ahora de generadores, que se emplean en automóviles, se recurre a relaciones depositadas en forma de tablas de número de revoluciones del motor de combustión interna, a la tensión de la red y a la potencia de salida deseada, que están correlacionadas con las corrientes teóricas del generador a emplear. En este caso, se presupone una regulación de la corriente sobre toda la zona de regulación del generador, lo que, sin embargo, en el modo de la máquina eléctrica con un inversor solamente es posible con reserva de tensión. Puesto que el inversor está limitado por la tensión de cobertura del inversor, además de esta tensión debe mantenerse una reserva, con lo que se reduce la cesión de potencia. Esta limitación se puede superar a través del empleo del procedimiento propuesto de acuerdo con la invención.

Dibujo

Con la ayuda del dibujo se explica la invención a continuación. En este caso:

La figura 1 muestra una máquina eléctrica con puente convertidor dispuesto a continuación.

La figura 2 muestra tres zonas de regulación de una máquina eléctrica, la zona de regulación orientada al campo, la zona de regulación de debilitamiento del campo así como la zona de regulación en el modo de diodos.

La figura 3 muestra la estructura de regulación para una regulación que se encuentra en la zona de regulación orientada al campo de una máquina eléctrica.

La figura 4 muestra una configuración de regulador de control para un sistema d, q.

La figura 5 muestra una representación simplificada de una red de desacoplamiento como parte de un sistema d, q.

La figura 6 muestra una configuración de regulador de corriente para las zonas de regulación de la regulación orientada al campo y del modo de debilitamiento del campo con limitación del valor de salida y derivación de control previo.

Variantes de realización

A partir de la figura 1 se deduce una máquina eléctrica con puente convertidor dispuesto a continuación, que se puede conectar con preferencia como puente rectificador B6.

La máquina eléctrica 1 –que se representa aquí sólo esquemáticamente a través de un arrollamiento de excitación 2 y un arrollamiento de estator 3- está conectada a través de terminales de conexión de sección 10 con un puente rectificador 5. La corriente i_F que fluye en el arrollamiento de excitación está identificada con el signo de referencia 4. El puente rectificador 5 no tiene que ser controlado durante la regulación de la máquina 1 en el modo de diodos 13 (corresponde a la zona de regulación III). La cesión de potencia se regula en la zona de regulación 13 por medio de la corriente de excitación. Una regulación en esta zona de regulación sobre las corrientes del estator solamente se realiza de nuevo cuando la potencia eléctrica requerida no se puede alcanzar ya en la zona de regulación 13, el modo de diodos de la zona de regulación. Entonces se abandona la zona de regulación 13.

En paralelo con la tensión de la red U_{Netz} , identificada por el signo de referencia 7, está conectada una capacidad 6, así como una carga variable 8, indicada por medio de una resistencia óhmica regulable 9.

A partir de la representación según la figura 2, se deduce la posición de las zonas de regulación orientada al campo, el modo de debilitamiento del campo así como el modo de diodos.

5 En la representación según la figura 2, la zona de regulación I para la regulación orientada al campo está delimitada por el límite de potencia 16 de la máquina eléctrica 1 así como por su límite de tensión 17. En esta zona existe una relación lineal del número de revoluciones 14 con respecto a la potencia eléctrica 15 emitida en el modo de generador de la máquina eléctrica 1.

La zona de debilitamiento de campo II, identificada por el signo de referencia 12, está delimitada hacia abajo por la curva del factor de potencia $\cos\phi = 1$ (o bien $= -1$), en cambio está delimitada hacia arriba por el límite de potencia 16 así como por el límite de la tensión 17.

10 El modo de diodos III, signo de referencia 13, encuentra su limitación en la curva 18 del factor de potencia $\cos\phi = 1$ (o bien $= -1$), que se aproxima asintóticamente a la curva 16 del límite de potencia de la máquina eléctrica 1.

15 La zona de regulación I, signo de referencia 11, corresponde a una regulación orientada al campo. En esta zona, la tensión de los terminales de la máquina eléctrica 1 no alcanza todavía la tensión de cobertura (la tensión de salida máxima posible en el lado de la máquina) del puente convertidor 5. El rendimiento máximo de la máquina eléctrica 1 se consigue cuando en el estator 3 fluye la corriente mínima con una cesión constante de la potencia. Si se omite en primer lugar la uniaxialidad magnética, que es propia de una máquina de polos intercalados, esto se consigue cuando en el estator 3 fluye una corriente transversal pura i_q y la corriente longitudinal i_d pasa a 0. En la zona de regulación I (signo de referencia 11), el puente convertidor 5 no ha llegado todavía a su límite de tensión y puede ajustar la corriente deseada del estator. La corriente de excitación i_F es ajustada a su valor máximo, con lo que se consigue que sea necesario un mínimo de corriente del estator para la potencia eléctrica requerida. Las pérdidas en el arrollamiento del estator 3 exceden muy ampliamente las pérdidas de excitación, por lo que es favorable incrementar la corriente de excitación i_F al valor máximo y reducir al mínimo la corriente del estator, para optimizar el rendimiento. El momento máximo está limitado por la corriente máxima del estator, y la potencia aumenta linealmente con el número de revoluciones 14.

25 La zona de regulación identificada con II corresponde a la zona de debilitamiento del campo 12. La zona II se consigue cuando la tensión de la máquina eléctrica 1 ha alcanzado la tensión de cobertura, es decir, el valor máximo de la tensión del inversor 5. El inversor 5 no puede incrementar ya más la tensión en los terminales 10. A través de una corriente longitudinal i_d en la máquina eléctrica 1 se realiza una zona de debilitamiento del campo. Pero la corriente de excitación i_F se mantiene en su valor máximo, para alcanzar una corriente mínima del estator, lo que tiene repercusiones favorables sobre el rendimiento alcanzable con la máquina eléctrica 1. A través de la ecuación de la potencia

$$P = \frac{3}{2} \cdot i_q \cdot u_p$$

35 se muestra claramente que la potencia no está influenciada por la corriente longitudinal del estator i_d , sino por la corriente transversal del estator i_q . No obstante, a medida que se incrementa el número de revoluciones 14 debe reducirse la corriente transversal i_q de la máquina eléctrica, puesto que el estator debe conducir adicionalmente una corriente longitudinal i_d

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2} (i_d^2 + i_q^2)}$$

La corriente transversal i_q de la máquina eléctrica es negativa debido al modo del generador. La corriente longitudinal i_d es igualmente negativa para alcanzar un debilitamiento del campo.

40 La tercera zona de regulación, identificada con el signo de referencia 13, corresponde al modo de diodos del puente convertidor 5.

45 Cuando la corriente longitudinal i_d en la máquina eléctrica 1 alcanza un valor, en el que el factor de potencia $\cos\phi$ de la máquina eléctrica 1 ha alcanzado el valor -1, se indica una modificación de la estructura de regulación. La zona de regulación 2 del modo de debilitamiento del campo podría proseguirse, en general, todavía más hacia un número de revoluciones más elevado, pero se consigue un rendimiento mejorado en la máquina eléctrica 1 cuando la corriente de excitación 4 de la máquina eléctrica 1. Con la condición marginal de una tensión constante de los terminales 10,

el rendimiento alcanza un máximo cuando el factor de potencia $\cos\phi$ alcanza el valor 1 (-1) (modo de generador). La corriente y la tensión están entonces en fase y para el caso de la tensión constante de la red U_{Netz} (tensión de techo del puente convertidor 5), la corriente de la sección es entonces mínima y, por lo tanto, la pérdida de potencia es también mínima. El modo de diodos corresponde al modo actual de un generador con puente de diodos B6. La regulación de la potencia de salida se realiza a través de la corriente de excitación i_F , signo de referencia 4, en el arrollamiento de excitación 2. La condición marginal de la tensión máxima de los terminales 10 con $\cos\phi = -1$ se cumple ya a través del puente rectificador. En la zona de regulación III (modo de diodos), la activación de la válvula está desactivada. Las válvulas de puente del puente convertidor 5 no se conmutan, el puente rectificador se convierte a través de los diodos paralelos en simple rectificador de diodos. El regulador avanza, pero sin intervenir en el puente convertidor 5, solamente cuando no se alcanza la condición para la zona de regulación III, se conmutan las válvulas de puente. La regulación de las corrientes del estator a través del control de la tensión de los terminales 10 se desconecta en este caso de manera más conveniente. La regulación siguiente de la máquina eléctrica se realiza a través de la corriente de excitación i_F , signo de referencia 4. La regulación de las corrientes del estator R, S, T solamente se puede conectar de nuevo cuando no se puede alcanzar ya la potencia eléctrica 15 requerida en la zona de regulación 3, signo de referencia 13.

En el modo de diodos, se pueden reducir las pérdidas de paso de los diodos porque durante el tiempo de paso de los diodos se conmuta paralelamente el transistor de efecto de campo. Las pérdidas de paso de un transistor de efecto de campo son esencialmente menores en comparación con las pérdidas de paso de los diodos, que se generan en el puente rectificador 5 según la figura 1. De esta manera, se puede reducir la pérdida de potencia resultante de la máquina eléctrica 1 en el modo de generador, lo que conduce a ventajas en la refrigeración de la máquina.

La conexión y desconexión, respectivamente, de las válvulas del puente convertidor 5, o bien se pueden controlar directamente en función de la corriente medida o, en cambio, predeterminando la tensión longitudinal y la tensión transversal U_d y U_q de manera correspondiente en corrientes longitudinales y corrientes transversales medidas, es decir, I_d e I_q .

En la figura 3 se indica la estructura de regulación para una regulación de la máquina eléctrica 1, que se encuentra en la zona de regulación I orientada al campo.

En la zona de regulación 11 de la regulación orientada al campo de la máquina eléctrica 1 se ajusta la corriente de excitación 4 a su valor máximo. Cuando el arrollamiento de excitación 2 está frío, se puede elevar la corriente de excitación y se puede incrementar en una medida considerable la potencia de la máquina eléctrica. A partir de una desviación de la tensión $\Delta U = U_{\text{soll}} - U_{\text{ist}}$, calculada en el regulador de la tensión 23 de orden superior, se calcula a través de un factor de la red una potencia requerida de la red, que resulta de acuerdo con $P_{\text{soll}} = K \cdot \Delta U$. A partir de esta potencia teórica y del número de revoluciones medido 14 de la máquina –calculado a través de un regulador de la posición 20- se puede derivar la corriente necesaria para esta potencia en el eje transversal según

$$I_{q,\text{soll}} = \frac{2 \cdot P_{\text{soll}}}{3 \cdot u_p} = \frac{K (U_{\text{soll}} - U_{\text{ist}})}{3 p \cdot \pi \cdot N \cdot L_{Fd} \cdot I_F} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Para el modo de generador, P_{soll} e I_q deben seleccionarse negativas. La corriente de sumas I_1 debe limitarse a un valor máximo para no sobrecargar la máquina eléctrica 1. La corriente se mide y se puede limitar en un regulador de tensión de orden superior 23, recuperando la potencia eléctrica 15.

En las máquina eléctrica 1 no se pueden medir directamente los valores reales de la corriente longitudinal I_d y de la corriente transversal I_q . Los valores momentáneos medidos de las variables de los terminales 10 son transmitidos en primer lugar a través de una transformación 21 al sistema d, q. Puesto que solamente se miden dos de las tres corrientes de la sección, con la condición

$$i_R + i_S + i_T = 0$$

se puede escribir la transformación de la siguiente manera:

$$I_{d,ist} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot (i_{R,ist} \cdot \cos(p \cdot \alpha - 30^\circ) + i_{S,ist} \cdot \cos(p \cdot \alpha - 90^\circ))$$

y

$$I_{q,ist} = -\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot (i_{R,ist} \cdot \sin(p \cdot \alpha - 30^\circ) + i_{S,ist} \cdot \sin(p \cdot \alpha - 90^\circ))$$

5 Las variables de salida de la fase de transformación 21 $I_{d,ist}$ o bien $I_{q,ist}$ son transmitidas a un regulador de la corriente 22. El regulador de la corriente 22 puede estar dividido en una regulación para la corriente transversal 34 y una regulación para la corriente longitudinal 35. Los dos módulos de regulación 29.1, 29.2 pueden ser reguladores-PI sencillos con un control previo 31. A las salidas del regulador se superpone en un punto de suma 30, respectivamente, el control previo con un factor de amplificación 1.

$$I_d' = I_{dsoll} + i_{dRegler}$$

$$I_q' = I_{qsoll} + i_{qRegler}$$

10

Estas variables de salida del regulador de corriente 22 subyacente son aplicadas sobre una red de desacoplamiento 24, que está conectada en serie con el regulador de corriente. Esto permite no sólo un control previo sino especialmente también una anulación del acoplamiento mutuo de los dos reguladores 34, 35 para la corriente transversal y la corriente longitudinal, respectivamente, a través del control subyacente de la tensión y la máquina eléctrica 1.

15

La red de desacoplamiento 24 se describe en detalle como parte del sistema d, q en la figura 5.

A partir de la representación según la figura 5 se deduce que las variables de salida del regulador de corriente 22 son transmitidas con valores de la corriente a la red de desacoplamiento 24, a partir de los cuales se calculan los valores de la tensión necesarios para la máquina eléctrica 1. En la red de desacoplamiento 24 está contenido un modelo simplificado de la máquina eléctrica, con cuya ayuda se pueden calcular las tensiones $U_{d,soll}$ y $U_{q,soll}$ necesarias. Las variables de salida de la red de desacoplamiento son los valores de la corriente ya descritos del regulador de la corriente 22 I_d' , I_q' , el número de revoluciones n (signo de referencia 14), tomado en el transmisor de la posición 20, así como la corriente de excitación I_F del arrollamiento de excitación 2 de la máquina eléctrica 1.

20

El modelo de la máquina eléctrica según la figura 5 se puede simplificar, para el caso de que la corriente de excitación I_F se considere como constante y el modelo se limita a la zona estacionaria.

25

En las aplicaciones previstas aquí como generador del automóvil, no se plantean requerimientos extremos a la dinámica de la regulación de la corriente. Por lo tanto, es suficiente una consideración estática de una red de desacoplamiento 24 como se representa en la figura 5. El modelo de la red de desacoplamiento 24 es insensible contra inexactitudes del modelo y errores de parámetros. Por medio de la regulación de la corriente 22 se pueden compensar los errores en los parámetros de la máquina de la red de desacoplamiento 25 según la figura 5, y se pueden alcanzar los valores teóricos de las corrientes, puesto que éstos se pueden regular con la regulación de la corriente 22. En el caso de desviación fuerte de los parámetros de la máquina, sufre la calidad de la regulación de la corriente y se empeora la dinámica, porque la red de desacoplamiento 24 no se ocupa entonces ya de un desacoplamiento completo de los dos reguladores 34 y 35, respectivamente en dirección-d y en dirección-q, con respecto al abollamiento del estator 3. Los reguladores 34 y 35, respectivamente, se influyen mutuamente. En cambio, solamente se produce un empeoramiento apreciable de los resultados de la regulación de la corriente 22 cuando existe una desviación grande de los parámetros.

30

35

Los valores teóricos para las tensiones de la máquina según el sistema d, q son transmitidos a una fase de retransformación 25, donde se retransforman a las variables de los terminales R, S, T de la máquina eléctrica 1. Los valores de la amplitud del sistema d, q se pueden convertir de manera sencilla en los tres valores teóricos de las tensiones de la sección, cuando se utiliza la posición del rotor α , que se puede calcular fácilmente a través del regulador de la posición 20.

40

El límite de la zona de regulación 11 orientada al campo está en el valor techo del valor teórico U_{soll} (la tensión de la sección en el circuito en estrella del estator), cuando éste alcanza la mitad de la tensión de la red $U_{Netz}/2$. En este caso, se alcanza la zona lineal del control de la tensión (modulación de la anchura del impulso). La zona lineal se

puede elevar hasta un 15 % hasta $U_{soll} = U_{Netz}/\sqrt{3}$, a través de una conmutación de la tensión cero. En cambio, si se sobreexcita la modulación de la anchura del impulso 26, es decir, si se activa el convertidor 5 con tensiones teóricas más elevadas, se pueden conseguir ondas básicas en la sección de la máquina eléctrica 1 hasta 27 % por encima de los valores de las tensiones sinusoidales. La modulación de la anchura del impulso 26 genera en su zona no lineal $U_{soll} > \frac{1}{2} U_{Netz}$ a través de sobreexcitación de una tensión de salida con la onda básica en el caso de una sobreexcitación de 2, una onda básica de partida de $0,609 U_{Netz}$, así como en el caso de una sobreexcitación de 5 una onda básica de partida de $0,632 U_{Netz}$. Por lo tanto, el valor teóricamente alcanzable es hasta 99,3 %.

En la zona de regulación II, la corriente de excitación 4 de la máquina eléctrica 1 permanece en adelante en su valor máximo, el puente convertidor 5 trabaja en el control de la frecuencia de base. La frecuencia de conmutación de las válvulas del convertidor corresponde a la frecuencia de las ondas básicas de la máquina eléctrica 1. La posibilidad de intervención en la cesión de potencia consiste en la variación del ángulo de carga ϕ .

Las zonas de regulación 11 y 12 según la figura 2 se pueden cubrir por medio de la misma estructura de regulación., No es necesaria ninguna conmutación de la regulación. A través de la sobreexcitación selectiva de la modulación de la anchura del impulso 26 se cubre la zona 12 y al mismo tiempo se lleva a cabo la transición hacia el control de la frecuencia de base a través de una sobreexcitación del generador de la modulación de la anchura del impulso 26.

A partir de la representación según la figura 6 se representa un regulador de corriente para las zonas 11 y 12 de acuerdo con la representación de las zonas de regulación de la figura 2. Si se predetermina la corriente longitudinal I_d aproximadamente en 0, ésta no se puede mantener regulada ya en la zona de regulación II (signo de referencia 12) en el eje longitudinal en su valor teórico. La diferencia de regulación en el regulador de la corriente longitudinal I_d se vuelve positiva, de manera que la salida del regulador debe limitarse a un valor máximo

$$I_{d,soll} = 0 \text{ } I_{d,ist} < 0 \text{ y } I_d' = I_{d,max} > 0.$$

$I_{q,soll}$ se predetermine de la misma manera de acuerdo con la ecuación anterior (ecuación 1). El regulador de la corriente 34 para la corriente transversal I_q según la figura 6 debe limitarse a un valor correspondientemente más alto. El regulador 34 comienza a sobreexcitarse y ajusta de nuevo de forma correcta la corriente transversal. A través de esta regulación se ajusta de manera correcta la corriente transversal, y se ajusta libremente la corriente longitudinal I_d . Adopta de forma automática el valor para la corriente longitudinal, que es necesario para el punto de funcionamiento respectivo de la máquina eléctrica.

La red de desacoplamiento 24 convierte los valores de la corriente de los reguladores 34, 35 en las tensiones teóricas correspondiente para la máquina eléctrica. En este caso, se toma como base de nuevo la red de desacoplamiento según la figura 5 para el funcionamiento estacionario. La regulación de la corriente con los reguladores de la corriente 34 y 35, respectivamente, para la corriente transversal y la corriente longitudinal conduce a un desplazamiento de la tensión en dirección a la tensión longitudinal U_d . El desplazamiento de los valores de la tensión en dirección a U_d es deseable, puesto que de esta manera se reduce U_q la tensión en dirección transversal y, por lo tanto, la corriente longitudinal I_d se puede desplazar todavía más a la zona negativa del valor. Esto significa un debilitamiento del campo regulable a través de la corriente del estator. El valor de sobreexcitación debe seleccionarse para que se pueda cubrir toda la zona de regulación II (debilitamiento del campo de la zona de regulación con el signo de referencia 2).

En la zona de regulación III, signo de referencia 13 según la figura 2 se desactiva la activación de la válvula en el puente convertidor 5. Las válvulas de puente no se conmutan ya y el puente convertidor 5 se convierte en esta zona de regulación del modo de diodos a través de los diodos paralelos en el rectificador sencillo de los diodos. El regulador prosigue, pero sin intervenir con efecto de regulación en el puente convertidor 5. La regulación de las corrientes del estator a través del control de la tensión de los terminales 10 se desconecta de manera más conveniente en esta zona de regulación 13. La regulación siguiente se realiza a través de la corriente de excitación 4 en el arrollamiento de excitación 2 de la máquina herramienta 1. La regulación de las corrientes del estator R, S, T solamente se conecta de nuevo cuando no se puede alcanzar ya la potencia requerida en la zona de regulación 13.

Evidentemente de acuerdo con este procedimiento, pero sin la zona de regulación III 13, se puede regular también una máxima excitada de forma permanente. La región de la zona de regulación III se puede cubrir en este caso totalmente por una zona de debilitamiento del campo (zona de regulación II). I_F se puede considerar entonces como una constante. El procedimiento de regulación es posible tanto para el modo de generador como también para el

modo de motor.

Lista de signos de referencia

	1	Máquina eléctrica
	2	Arrollamiento de excitación
5	3	Arrollamiento del estator
	4	Corriente de excitación I_F
	5	Puente convertidor
	6	Capacidad
	7	Tensión de los terminales
10	8	Carga
	9	Resistencia regulable
	10	Sección de fases
	11	Primera zona de regulación (regulación orientada al campo)
	12	Segunda zona de regulación (zona de debilitamiento del campo)
15	13	Tercera zona de regulación (modo de diodos)
	14	Número de revoluciones
	15	Potencia
	16	Límite de potencia
	17	Límite de tensión
20	18	Factor de potencia $\cos\phi$
	19	Conexiones de la red
	20	Indicador de posición n, α
	21	Instalación de medición de la corriente
	22	Regulador de la corriente
25	23	Regulador de la tensión
	24	Red de desacoplamiento
	25	Transformaciones R, S, T
	26	Generador PWM
	27	Señales de control
30	28	Elemento de conmutación
	29.1	Módulo PI
	29.2	Módulo-PI
	30	Punto de suma
	31	Derivación de control previo
35	32	Señal del número de revoluciones
	33	Corriente de excitación
	34	Regulador de la corriente transversal
	35	Regulador de la corriente longitudinal
	36	Inductividad longitudinal
40	37	Inductividad transversal
	38	Otra inductividad
	39	Módulo PI con limitación
	40	Control previo

REIVINDICACIONES

- 1.- Procedimiento para la regulación de una máquina eléctrica (1), que comprende un abollamiento de excitación (2) así como un arrollamiento de estator (3), en el que detrás del arrollamiento de estator (3) está conectado en sus terminales de salida (10) un puente convertidor (5), y la máquina eléctrica (1) puede ser accionada en las zonas de regulación de regulación orientada al campo (11), modo de debilitamiento del campo (12) y modo de diodos (13), caracterizado porque la transición desde la zona de regulación (11) hacia una zona de regulación (12) adyacente se realiza a través de una sobreexcitación de la modulación de la anchura del impulso (26) y una limitación de la salida de reguladores de corriente (34, 35) de los arrollamientos del estator (3) de la máquina eléctrica (1) tanto en el modo de generador como también en el modo de motor.
- 2.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque los valores de la corriente medidos en los terminales de salida (10) de la máquina eléctrica (1) son transmitidos desde el sistema RST (1>) por medio de una fase de transformación (21) a un sistema d, q (22, 24, 25).
- 3.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque la limitación de las salidas de los reguladores de corriente (34, 35) se realiza en la red de desacoplamiento, que actúan sobre las inductancias (36,37) del arrollamiento del estator (3).
- 4.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque la regulación de la corriente de la máquina eléctrica (1) se divide en una regulación de la corriente transversal (34) y una regulación de la corriente longitudinal (35) del arrollamiento del estator (3) con módulos-PI (29.1, 29.2; 39).
- 5.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado porque los módulos-PI de los reguladores de corriente (34, 35) comprenden un control previo (31, 40) conmutado a un punto de suma (30) previsto en el lado de salida.
- 6.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado porque los reguladores de corriente (34, 35) están conmutador con sus salidas a las entradas de una red de desacoplamiento (24) y permiten un control previo de la máquina eléctrica (1).
- 7.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado porque los reguladores de corriente (34, 35) y la red de desacoplamiento (24) están conectados en serie.
- 8.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado porque las magnitudes de salida $U_{d,soll}$, $U_{q,soll}$ de la red de desacoplamiento (24) contenida en el sistema d, q son retransformadas por medio de una matriz de retransformación (25) a los valores de los terminales (10) del sistema RST (1).
- 9.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado porque los valores de salida para la corriente transversal $i_{q,soll}$ son limitados en el regulador de corriente (34) y la corriente longitudinal i_d se puede ajustar libremente en el arrollamiento del estator (3).
- 10.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque durante el funcionamiento de la máquina eléctrica (1) en el modo de diodos (13), el puente convertidor (5) es accionado como rectificador de diodos.
- 11.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, caracterizado porque en el modo de diodos a partir de $\cos\varphi = -1$, se bloquean las válvulas.
- 12.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque durante el tiempo de paso de los diodos, se conmutan los transistores de efecto de campo y se reduce la pérdida de potencia de la máquina eléctrica.

