

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 381 541**

51 Int. Cl.:  
**H02P 23/00** (2006.01)  
**B66C 13/22** (2006.01)  
**B66D 1/48** (2006.01)  
**G01G 19/14** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **09177587 .4**  
96 Fecha de presentación: **01.12.2009**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2357724**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **17.08.2011**

54 Título: **Sistema de control de un motor para un mecanismo de accionamiento de un montacargas**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**29.05.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**29.05.2012**

73 Titular/es:  
**Konecranes Plc**  
**Koneenkatu 8**  
**05830 Hyvinkää**

72 Inventor/es:  
**Salomäki, Janne y**  
**Porma, Mikko**

74 Agente/Representante:  
**de Elizaburu Márquez, Alberto**

ES 2 381 541 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 un motor para un mecanismo de accionamiento de un montacargas

**ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

5 La presente invención se refiere a un sistema de control de un motor para un mecanismo de accionamiento de montacargas según el preámbulo de la reivindicación independiente 1.

10 Con el fin de mantener un funcionamiento estable de un mecanismo de accionamiento de un montacargas, debe limitarse una velocidad de rotación del motor eléctrico del mecanismo de accionamiento del montacargas de tal manera que la frecuencia de deslizamiento no supera la frecuencia de deslizamiento de extracción. En otras palabras, no debe alcanzarse el par de extracción. El par de extracción disminuye como el cuadrado inverso de la velocidad, de modo que el par de extracción se alcance más fácilmente a velocidades altas que a velocidades bajas.

Un sistema de control de un motor de la técnica anterior para un mecanismo de accionamiento de un montacargas está adaptado para usar datos de pesaje de una carga procedentes de un sensor de pesaje de la carga para limitar la velocidad de rotación del motor eléctrico del mecanismo de accionamiento del montacargas. Los sensores de pesaje de carga adaptados para dar salida a datos de pesaje de la carga son componentes relativamente caros.

15 **BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

20 Un objeto de la presente invención es proporcionar un sistema de control de un motor para un mecanismo de accionamiento de un montacargas que sea capaz de limitar la velocidad de rotación del motor eléctrico del mecanismo de accionamiento del montacargas por debajo de la frecuencia de deslizamiento de extracción sin datos de pesaje de carga. El objeto de la invención se alcanza por un sistema de control de un motor para un mecanismo de accionamiento de un montacargas que está caracterizado porque lo que se indica en la reivindicación independiente 1. Las realizaciones preferidas de la invención se describen en las reivindicaciones subordinadas.

La invención se basa en la idea de generar un término de corrección para la referencia de frecuencia angular con unos medios limitadores de potencia que comprenden unos medios controladores e integrados que usan sus datos iniciales una información relativa al valor real de la potencia del motor eléctrico.

25 Una ventaja del sistema de control de motor de la invención es que el sistema de control de motor no necesita datos de medición relativos al peso de la carga. Otra ventaja es que el sistema de control de motor puede mantener fiablemente la frecuencia de deslizamiento por debajo de la frecuencia de deslizamiento de extracción.

**BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

30 A continuación, se describirá la invención con mayor detalle por medio de realizaciones preferidas con referencia a los dibujos anexos, en los que

La figura 1 muestra un mecanismo de accionamiento de un montacargas de bucle abierto que comprende un sistema de control de un motor según una realización de la presente invención;

La figura 2 muestra un mecanismo de accionamiento de un montacargas de bucle cerrado que comprende un sistema de control de un motor según otra realización de la presente invención;

35 La figura 3 muestra un límite de par y un límite de potencia del mecanismo de accionamiento de montacargas de la figura 1; y

La figura 4 muestra resultados de medición obtenidos usando el mecanismo de accionamiento de montacargas según la figura 1.

**DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION**

40 La figura 1 muestra un mecanismo de accionamiento de un montacargas de bucle abierto que comprende un motor eléctrico 2 conectado operativamente a un miembro de elevación 4 para elevar una carga 6. El motor eléctrico 2 es controlado por un sistema de control de motor según una realización de la presente invención. El sistema de control del motor comprende unos medios limitadores 8 de potencia, unos medios de saturación 12, medios limitadores de régimen 14, unos medios de control 16, unos medios estimadores 18 de potencia y unos medios de modulación de anchura de pulso 20. El sistema de control del motor está adaptado para generar una referencia de frecuencia angular final  $\omega_s$  para control del motor eléctrico 2 basándose en datos iniciales que comprende un valor de punto ajustado limitado  $\omega_{s,lim}$  para la referencia de frecuencia angular y un término de corrección  $\omega_{s,cor}$  para la referencia de frecuencia angular. En la realización de bucle abierto de la figura 1, la referencia de frecuencia angular final  $\omega_s$  es una referencia de frecuencia angular síncrona y los medios de control 16 son unos medios de control escalares.

50 En la figura 1, el mecanismo de accionamiento del montacargas de bucle abierto se ha dividido en tres segmentos, a saber un software de aplicación 50, un software de sistema 60 y un equipo 70 de mecanismo de accionamiento de

montacargas. El software de aplicación y el software de sistema están adaptados para ser ejecutados por un equipo de procesamiento de datos adecuado. Además del motor eléctrico 2 y el miembro de elevación 4 antes listados, el equipo mecanismo de accionamiento del montacargas comprende un convertor 22 de frecuencia. Todo el equipo de mecanismo del accionamiento del montacargas puede estar compuesto por componentes conocidos.

5 Los medios de saturación 12 están adaptados para recibir una referencia de frecuencia angular inicial  $\omega_{s0}^*$  generada por unos medios de interfaz de usuario. Los medios de saturación 12 están adaptados para generar una referencia de frecuencia angular saturada  $\omega_{s,sat}^*$  imponiendo un límite superior  $\omega_{s0,max}$  y un límite inferior  $\omega_{s0,min}$  a la referencia de frecuencia angular inicial  $\omega_{s0}^*$ . Cuando la referencia de frecuencia angular inicial  $\omega_{s0}^*$  está dentro del rango especificado por el límite inferior y el límite superior, la referencia de frecuencia angular inicial saturada  $\omega_{s,sat}^*$  es igual a la referencia de frecuencia angular inicial  $\omega_{s0}^*$ . Cuando la referencia de frecuencia angular inicial  $\omega_{s0}^*$  es mayor que el límite superior  $\omega_{s0,max}$ , la referencia de frecuencia angular inicial saturada  $\omega_{s,sat}^*$  es igual al límite superior  $\omega_{s0,max}$ . De manera correspondiente, cuando la referencia de frecuencia angular inicial  $\omega_{s0}^*$  es menor que el límite inferior  $\omega_{s0,min}$  la referencia de frecuencia angular inicial saturada  $\omega_{s,sat}^*$  es igual al límite inferior  $\omega_{s0,min}$ . El límite inferior  $\omega_{s0,min}$  puede ser la inversa aditiva del límite superior  $\omega_{s0,max}$ , en donde los valores absolutos de los límites superior e inferior son iguales. En una realización alternativa, los medios de saturación pueden estar adaptados para imponer sólo un límite inferior o sólo un límite superior a la referencia de frecuencia angular inicial.

Los medios de saturación 12 están adaptados para alimentar la referencia de frecuencia angular inicial saturada  $\omega_{s,sat}^*$  a los medios limitadores 14 de régimen como la señal de entrada de los medios limitadores 14 de régimen. Los medios limitadores 14 de régimen están adaptados para generar el valor de punto ajustado limitado  $\omega_{s,lim}$  para una referencia de frecuencia angular limitando la primera derivada de la referencia de frecuencia angular inicial saturada  $\omega_{s,sat}^*$ .

Los medios limitadores 14 de régimen se implementan en el software de sistema como sigue

$$\Delta_{\omega s} = \frac{\omega_{s,in}^*(n) - \omega_{s,lim}^*(n-1)}{T_s}$$

$$\omega_{s,lim}^*(n) = \begin{cases} \omega_{s,lim}^*(n-1) + \text{sign}(\Delta_{\omega s}) T_s \Delta_{max} & , \text{ si } |\Delta_{\omega s}| > \Delta_{max} \\ \omega_{s,in}^*(n) & , \text{ en caso contrario} \end{cases}$$

en donde  $\omega_{s,in}^*$  es la entrada de los medios limitadores 14 de régimen,  $T_s$  es el intervalo de muestreo,  $\Delta_{\omega s}$  es el régimen ilimitado de cambio de la referencia de frecuencia angular, y  $\Delta_{max}$  es el régimen máximo de cambio de la frecuencia angular. La notación  $\omega_{s,lim}(n)$  denota el valor actual y  $\omega_{s,lim}(n-1)$  denota el valor previo.

La implementación de los medios limitadores 14 de régimen da como resultado el mismo valor absoluto del régimen de cambio para los bordes ascendentes y descendentes. En una realización alternativa, el valor absoluto del régimen de cambio para el borde ascendente puede ser diferente del valor absoluto del régimen de cambio para el borde descendente.

Los medios limitadores 8 de potencia comprenden unos medios controladores integradores 10 destinados a generar una señal de salida  $I_p$ . Los medios limitadores 8 de potencia están adaptados para generar el término de corrección  $\omega_{s,cor}$  para la referencia de frecuencia angular con la ecuación

$$\omega_{s,cor} = \text{sign}(\omega_{s,lim}^*) I_p ,$$

en donde "sign" es una función signum que extrae el signo de un número verdadero. En otras palabras, el valor absoluto del término de corrección  $\omega_{s,cor}$  es igual a la señal de salida de los medios controladores integradores 10, y el signo del término de corrección  $\omega_{s,cor}$  depende del signo del valor de punto ajustado limitado  $\omega_{s,lim}^*$  para la referencia de frecuencia angular. Con el fin de evitar un bucle algebraico, deberá usarse un valor previo del valor de punto ajustado limitado  $\omega_{s,lim}^*$  para la referencia de frecuencia angular al calcular el término de corrección  $\omega_{s,cor}$  para la referencia de frecuencia angular con la ecuación anterior.

La referencia de frecuencia angular final  $\omega_s^*$  se obtiene restando el término de corrección  $\omega_{s,cor}$  para la referencia de frecuencia angular respecto de un valor de punto ajustado limitado  $\omega_{s,lim}$  para la referencia de frecuencia angular,

según se define en la ecuación

$$\omega_s^* = \omega_{s,lim}^* - \omega_{s,cor}^*$$

5 La referencia de frecuencia angular final  $\omega_s^*$  se introduce en los medios de control 16 para cálculo de referencia de tensión de estator  $\underline{u}_s^*$  y en de los medios limitadores 8 de potencia para el cálculo de una potencia dinámica  $P_{din}$  del motor eléctrico.

10 Los medios de control 16 están adaptados para generar, usando algún método conocido, la referencia de tensión de estator  $\underline{u}_s^*$  basándose en la referencia de frecuencia angular final  $\omega_s^*$  y una corriente de estator medida  $\underline{i}_s$ . Tanto la corriente de estator medida  $\underline{i}_s$  como la referencia de tensión de estator  $\underline{u}_s^*$  son vectores separados que representan tres cantidades de fase. Los medios de control 16 están adaptados para dar entrada a la referencia de tensión de estator  $\underline{u}_s^*$  en el estimador de potencia 18 para el cálculo de la potencia verdadera estimada  $\hat{P}$  del motor eléctrico 2 y en los medios de modulación de anchura de impulso 20 para la modulación de anchura de impulso de la tensión de entrada del motor eléctrico 2.

15 Además del término de corrección  $\omega_{s,cor}$  para la referencia de frecuencia angular, los medios limitadores de potencia 8 también están adaptados para generar el límite superior  $\omega_{s0,max}$  para la referencia de frecuencia angular, basándose en el valor de punto ajustado limitado  $\omega_{s,lim}$  para la referencia de frecuencia angular y la señal de salida  $I_p$  de los medios controladores integradores 10. El límite superior  $\omega_{s0,max}$  se selecciona como sigue:

$$\omega_{s0,max} = \begin{cases} \omega_{s,lim}^* & \text{Si } I_p > 0 \\ \omega_{s,max} & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

20 en donde  $\omega_{s0,max}$  es una frecuencia angular máxima predeterminada del motor eléctrico 2. Con el fin de evitar un bucle algebraico, un valor previo del valor de punto ajustado limitado  $\omega_{s,lim}$  para la referencia de frecuencia angular deberá usarse en la ecuación anterior.

25 Los datos iniciales de los medios controladores integradores 10 incluyen un valor absoluto de una potencia real estimada  $\hat{P}$  del motor eléctrico, un límite de potencia  $P_{lim}$  del motor eléctrico y una potencia dinámica  $\hat{P}_{dyn}$  del motor eléctrico. La salida  $I_p$  de los medios controladores integradores 10 se calcula con la ecuación

$$I_p = k_{ip} \int (\hat{P} - P_{lim} + \hat{P}_{dyn}) dt, \quad I_p \geq 0$$

en donde  $k_{ip}$  es la ganancia de los medios controladores integradores 10. La salida  $I_p$  de los medios controladores integradores 10 es siempre mayor o igual que cero. Esto significa que si la función integral anterior devuelve un valor menor que un cero, los medios controladores integradores 10 delimitan la salida  $I_p$  a cero.

30 La potencia verdadera estimada  $\hat{P}$  del motor eléctrico se obtiene como una salida del estimador de potencia 18. La potencia dinámica  $\hat{P}_{dyn}$  del motor eléctrico se calcula como sigue

$$\hat{P}_{dyn} = \begin{cases} \frac{J}{p^2} \frac{d\omega_s^*}{dt} \omega_s^* & \text{si } \hat{P} < 0 \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

35 en donde J es la inercia del motor eléctrico 2 y p es el número de pares de polos del motor eléctrico 2. La ecuación anterior muestra que la potencia dinámica  $\hat{P}_{dyn}$  no es cero únicamente en el modo de regeneración del mecanismo de accionamiento del montacargas. La compensación de la potencia dinámica ayuda a reducir el riesgo de que la potencia verdadera del motor eléctrico supere su límite cuando finaliza la aceleración en el modo de regeneración.

40 Los medios 18 estimadores de potencia están adaptados para calcular la potencia verdadera estimada  $\hat{P}$  del motor eléctrico 2 basándose en la corriente de estator medida  $\underline{i}_s$  y la referencia de tensión de estator  $\underline{u}_s^*$  generadas por los medios de control 16. Los métodos para calcular la potencia verdadera estimada son bien conocidos en la técnica. La diferencia entre el valor absoluto de la potencia verdadera estimada  $\hat{P}$  y el límite de potencia  $P_{lim}$  del motor

eléctrico se introduce en los medios limitadores 10 de potencia.

En el sistema de control de motor mostrado en la figura 1, los medios limitadores 8 de potencia están adaptados para generar el término de corrección  $\omega_{s,cor}$  para la referencia de frecuencia angular basándose en valores de potencia verdadera relativos al motor eléctrico 2. Esto significa que la realización descrita limita la potencia verdadera del motor eléctrico. Los versados en la técnica conocen que también es posible limitar la corriente del motor eléctrico o, cuando se usa un motor de inducción, limitar el deslizamiento del motor. En el presente documento, la expresión "información relativa al valor real de la potencia del motor eléctrico" abarca información relativa a la potencia, corriente y deslizamiento verdaderos. En realizaciones adaptadas para limitar la corriente del motor eléctrico, el límite de potencia  $P_{lim}$  se reemplaza por un límite de corriente. De manera correspondiente, en realizaciones adaptadas para limitar el deslizamiento del motor eléctrico, el límite de potencia  $P_{lim}$  se reemplaza por un límite de deslizamiento. Cada uno de entre el límite de potencia, el límite de corriente y el límite de deslizamiento es un valor límite relacionado con la potencia del motor eléctrico en la realización correspondiente.

Los datos iniciales de los medios de modulación 20 de anchura de impulso comprenden la referencia de tensión de estator  $\underline{u}_s$  y una tensión continua de entrada medida  $u_{dc}$  de un convertidor de frecuencia 22 adaptado para alimentar el motor eléctrico 2, Tanto los moduladores de anchura de impulso como los convertidores de frecuencia son bien conocidos en la técnica y, por ello, no se discuten en el presente documento.

En la realización de la figura 1, los medios limitadores 8 de potencia, los medios controladores integradores 10, los medios de saturación 12, los medios limitadores 14 de régimen, los medios de control 16, los medios estimadores 18 de potencia y los medios de modulación 20 de anchura de impulso son componentes de software adaptados para realizar ciertos pasos de un método cuando son ejecutados en un aparato de procesamiento de datos. En una realización alternativa, los medios limitadores 8 de potencia, los medios controladores integradores 10, los medios de saturación 12, los medios limitadores 14 de régimen, los medios de control 16, los medios estimadores 18 de potencia y los medios de modulación 20 de anchura de impulso puede comprender componentes de firmware y/o componentes de hardware.

La figura 2 muestra un mecanismo de accionamiento de un montacargas de bucle cerrado que comprende un motor eléctrico 2' conectado operacionalmente a un miembro 4' de elevación para elevar un carga 6'. El motor eléctrico 2' es controlado por un sistema de control de motor según una realización de bucle cerrado de la presente invención. El sistema de control de motor comprende unos medios limitadores 8' de potencia, unos medios de saturación 12', unos medios limitadores 14' de régimen, unos medios de control 16', unos medios estimadores 18' de potencia, unos medios de modulación 20' de anchura de impulso y un sensor 24' de velocidad. El sistema de control del motor está adaptado para generar una referencia de frecuencia angular final  $\omega_s^*$  para el control del motor eléctrico 2' basándose en datos iniciales que comprenden un valor de punto ajustado limitado  $\omega_{s,lim}^*$  para la referencia de frecuencia angular y un término de corrección  $\omega_{s,cor}$  para la referencia de frecuencia angular. En la realización de bucle cerrado de la figura 2, la referencia de frecuencia angular  $\omega_s^*$  es una referencia de velocidad de rotación y los medios de control 16' son un medio de control vectorial.

Los componentes correspondientes del mecanismo de accionamiento del montacargas de bucle abierto de la figura 1 y del mecanismo de accionamiento del montacargas bucle cerrado de la figura 2 se han denotado con los mismos signos de referencia, con la excepción de que se ha añadido un apóstrofo (') a los signos de referencia que hacen referencia al mecanismo de accionamiento del montacargas de bucle cerrado de la figura 2. Puede verse que el mecanismo de accionamiento del montacargas de bucle cerrado de la figura 2 es bastante similar a los mecanismos de accionamiento del montacargas de bucle abierto de la figura 1. La comparación del mecanismo de accionamiento del montacargas de bucle cerrado de la figura 2 con el mecanismo de accionamiento del montacargas de bucle abierto de la figura 1 revela que el único componente completamente nuevo es el sensor de velocidad 24', que detecta el valor real de la velocidad de rotación  $n_{rot}$  del motor eléctrico 2'. El sensor de velocidad 24' está adaptado para dar entrada al valor real de la velocidad de rotación  $n_{rot}$  del motor eléctrico 2' en los medios de control 16' para el control vectorial del motor eléctrico 2'. Los medios de control 16' incluyen un controlador de velocidad y un controlador vectorial.

El mecanismo de accionamiento del montacargas de bucle cerrado de la figura 2 genera la referencia de frecuencia angular final  $\omega_s^*$  con las mismas ecuaciones con las que el mecanismo de accionamiento del montacargas de bucle abierto de la figura 1 genera su referencia de frecuencia angular  $\omega_s$ . Por tanto, todo lo que se ha dicho anteriormente acerca del algoritmo para generar la referencia de frecuencia angular final  $\omega_s^*$  de un mecanismo de accionamiento de montacargas de bucle abierto también se aplica a mecanismo de accionamiento de montacargas de bucle cerrado.

La figura 3 muestra un límite de par de fuerzas  $T_{lim}$  y un límite de potencia  $P_{lim}$  del mecanismo de accionamiento del montacargas de la figura 1 en función de una frecuencia de estator  $\omega_s$  del motor eléctrico 2. La frecuencia de estator  $\omega_s$  se representa como un valor por unidad, es decir, como un cociente de una frecuencia de estator real y la frecuencia de estator nominal. La figura 3 ilustra la influencia del límite de potencia  $P_{lim}$  sobre el límite de par de fuerzas  $T_{lim}$ . En la práctica, dicha influencia es significativa sólo a frecuencias angulares altas. A bajas frecuencias, el par de fuerzas está limitado usualmente por la corriente máxima. Las formas de las gráficas representadas en la

figura 3 son meramente ejemplos.

La subgráfica inferior de la figura 3 muestra que cuando la frecuencia de estator  $\omega_s$  del motor eléctrico 2 está por debajo de un punto de frecuencia umbral de elevación  $\omega_{cp}$ , el límite de potencia  $P_{lim}$  es igual a la potencia nominal  $P_n$  del motor eléctrico. Cuando la frecuencia de estator  $\omega_s$  del motor eléctrico 2 está por encima del punto de frecuencia umbral de elevación  $\omega_{cp}$ , el límite de potencia  $P_{lim}$  cae aproximadamente de manera inversamente proporcional a la frecuencia de estator  $\omega_s$ . La subgráfica superior de la figura 3 muestra que cuando la frecuencia de estator  $\omega_s$  del motor eléctrico 2 es menor que la nominal, el límite de par de fuerzas  $T_{lim}$  es igual al par de fuerzas nominal  $T_n$  del motor eléctrico 2. Cuando la frecuencia de estator  $\omega_s$  del motor eléctrico 2 está por encima de la nominal, pero por debajo del punto de frecuencia umbral de elevación  $\omega_{cp}$ , el límite de par  $T_{lim}$  cae aproximadamente de manera inversamente proporcional a la frecuencia de estator  $\omega_s$  debido al valor constante del límite de potencia  $P_{lim}$ . Cuando la frecuencia de estator  $\omega_s$  del motor eléctrico 2 está por encima del punto de frecuencia umbral de elevación  $\omega_{cp}$ , el límite de par de fuerzas  $T_{lim}$  cae aproximadamente de manera inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia de estator  $\omega_s$  debido al límite de potencia decreciente  $P_{lim}$ . Por tanto, se mantiene un margen seguro al par de extracción  $T_{extracción}$ . La subgráfica superior de la figura 3 muestra que el límite de par de fuerzas  $T_{lim}$  está siempre claramente por debajo del par de extracción  $T_{extracción}$ , que cae aproximadamente de manera inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia de estator  $\omega_s$ .

Las gráficas representadas en la figura 3 son sólo ejemplos. En las gráficas de la figura 3, el punto de frecuencia umbral de elevación  $\omega_{cp}$  es el doble de la frecuencia de estator nominal del motor eléctrico 2. En una realización alternativa, el punto de frecuencia umbral de elevación puede tener un valor diferente.

En una realización alternativa el límite de par de fuerzas tiene un valor diferente que el par de fuerzas nominal del motor eléctrico cuando la frecuencia de estator del motor eléctrico es menor que la nominal. La frontera entre el límite de par de fuerzas constante y el límite de par de fuerzas inversamente descendente también puede situarse de manera diferente a la de la figura 3. Además, el límite de par de fuerzas no tiene que ser constante en ningún rango de frecuencia del estator.

En una realización alternativa, el límite de potencia tiene un valor diferente al de la potencia nominal del motor eléctrico cuando la frecuencia de estator del motor eléctrico es menor que el punto de frecuencia umbral de elevación. Además, el límite de potencia no tiene que ser constante en un rango de frecuencia por debajo del punto de frecuencia umbral de elevación. Los versados en la materia comprenderán la relación entre el límite de par de fuerzas y el límite de potencia y, por tanto, la relación no se discute en el presente documento.

Las gráficas de la figura 3 están relacionadas con un evento de elevación. En una realización, las gráficas que hacen referencia a un evento de descenso son imágenes especulares de las gráficas relativas a un evento de elevación. Por ejemplo, una gráfica de descenso obtenida por formación de imágenes especulares de la subgráfica inferior de la figura 2 tendría un punto de frecuencia umbral de descenso en  $\omega_s = -2$  (p.u.), por debajo del cual el límite de potencia  $P_{lim}$  caería aproximadamente de manera inversamente proporcional a la frecuencia de estator  $\omega_s$ . En una realización alternativa, las gráficas de descenso de un mecanismo de accionamiento de montacargas no son imágenes especulares de las gráficas de elevación del mecanismo de accionamiento del montacargas. El límite de potencia  $P_{lim}$  es siempre mayor que cero, tanto durante un evento de elevación como durante un evento de descenso.

En una realización alternativa las gráficas relativas a un evento de descenso no son imágenes especulares de las gráficas relativas a un evento de elevación. El punto de frecuencia umbral de descenso puede tener un valor absoluto diferente respecto del punto de frecuencia umbral de elevación. En un rango de frecuencia entre cero y el punto de frecuencia umbral de descenso el valor absoluto del límite de potencia puede ser diferente del valor absoluto del límite de potencia entre cero y el punto de frecuencia umbral de elevación.

Las gráficas de la figura 3 tiene la frecuencia de estator  $\omega_s$  como eje de abscisas, o eje x. Sin embargo, se comprende que la frecuencia de estator  $\omega_s$  es aproximadamente igual a la referencia de frecuencia angular final  $\omega_s$ , dado que un convertidor de frecuencia típico es capaz de seguir muy estrechamente su referencia de frecuencia.

La figura 4 muestra resultados de mediciones obtenidos usando el mecanismo de accionamiento de montacargas según la figura 1. Las subgráficas superiores muestran la frecuencia de estator  $f_s$  y el valor real de la velocidad de rotación  $n_{rot}$  del motor eléctrico 2 en función del tiempo. La unidad de la frecuencia de estator  $f_s$  y el valor real de la velocidad de rotación  $n_{rot}$  del motor eléctrico 2 se expresa en hertzios o ciclos por segundo. La subgráfica inferior muestra la potencia verdadera estimada  $\hat{P}$  del motor eléctrico 2 en función del tiempo. La subgráfica inferior también muestra un límite de potencia de elevación  $P_{hst}$  y un límite de potencia de descenso  $P_{lwr}$ .

La subgráfica inferior de la figura 4 muestra que el valor absoluto del límite de potencia de elevación  $P_{hst}$  es más alto que el valor absoluto del límite de potencia de descenso  $P_{lwr}$ . El límite de potencia de elevación  $P_{hst}$  es un 80% de la potencia nominal del motor eléctrico 2. El valor absoluto del límite de potencia de descenso  $P_{lwr}$  es un 40% de la potencia nominal del motor eléctrico 2. En la figura 4 se ha dado a una velocidad de elevación un signo positivo y a una velocidad de descenso se le ha dado un signo negativo.

- El límite de potencia de elevación  $P_{\text{hst}}$  es el valor del límite de potencia  $P_{\text{lim}}$  durante los eventos de elevación de la figura 4. Durante los eventos de descenso de la figura 4 el límite de potencia  $P_{\text{lim}}$  es igual al valor absoluto del límite de potencia de descenso  $P_{\text{lwr}}$ . El límite de potencia  $P_{\text{lim}}$  era constante, es decir, igual al límite de potencia de elevación  $P_{\text{hst}}$  durante los eventos de elevación porque la frecuencia de estator  $\omega_s$  estaba en todo momento por debajo del punto de frecuencia umbral de elevación  $\omega_{\text{cp}}$ . De manera correspondiente, el límite de potencia  $P_{\text{lim}}$  era igual al valor absoluto del límite de potencia de descenso  $P_{\text{lwr}}$  durante los eventos de descenso porque la frecuencia de estator  $\omega_s$  estaba en todo momento por encima del punto de frecuencia umbral de descenso. El hecho de que la frecuencia de estator  $\omega_s$  esté por encima del punto de frecuencia umbral de descenso significa que el valor absoluto de la frecuencia de estator  $\omega_s$  es menor que el valor absoluto del punto de frecuencia umbral de descenso.
- 5
- 10 La medición relativa a la figura 4 se realizó elevando y bajando una carga con un peso de 6000 kg. La referencia de frecuencia angular inicial  $\omega_{s0}$  fue de 150 Hz durante los eventos de elevación y de -150 Hz durante los eventos de descenso. La subgráfica superior de la figura 4 muestra que, gracias a la acción limitante de potencia de los medios limitadores de potencia 8, el valor real de la velocidad de rotación  $n_{\text{rot}}$  del motor eléctrico 2 no se elevó más allá de aproximadamente 100 revoluciones por segundo o hertzios.
- 15 Resultará obvio para los versados en la materia que el concepto inventivo puede implementarse de diversas maneras. La invención y sus realizaciones no se limitan a los ejemplos descritos anteriormente, sino que pueden variar dentro del alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de control de un motor para un mecanismo de accionamiento de un montacargas que tiene un motor eléctrico (2) conectado operativamente a un miembro de elevación (4) para elevar una carga (6), estando adaptado el sistema de control del motor para generar una referencia de frecuencia angular final ( $\omega_s^*$ ) para el control del motor eléctrico (2) basándose en datos iniciales que comprenden un valor de punto ajustado limitado ( $\omega_{s,lim}^*$ ) para una referencia de frecuencia angular que es de régimen limitado (14) y un término de corrección ( $\omega_{s,cor}$ ) para una referencia de frecuencia angular, comprendiendo el sistema de control del motor unos medios limitadores (8) de potencia adaptados para generar el término de corrección ( $\omega_{s,cor}$ ) para la referencia de frecuencia angular, **caracterizado** porque los medios limitadores (8) de potencia comprenden unos medios controladores integradores (10), estando adaptados los medios limitadores (8) de potencia para generar el término de corrección ( $\omega_{s,cor}$ ) para la referencia de frecuencia angular usando una señal de salida  $I_p$  de los medios controladores integradores (10), siendo proporcional el término de corrección ( $\omega_{s,cor}$ ) para la referencia de frecuencia angular a la señal de salida  $I_p$ , incluyendo los datos iniciales de los medios controladores integradores (10) una primera variable proporcional al valor real de la potencia del motor eléctrico (2) y un primer parámetro proporcional a un valor límite de la potencia del motor eléctrico (2), y un cálculo de la señal de salida  $I_p$  de los medios controladores integradores (10) comprende restar dicho primer parámetro de dicha primera variable, estando delimitada la señal de salida  $I_p$  de los medios controladores integradores (10) de tal manera que siempre sea mayor o igual que cero, y la referencia de frecuencia angular final ( $\omega_s^*$ ) se obtiene restando el término de corrección ( $\omega_{s,cor}$ ) para la referencia de frecuencia angular respecto del valor de punto ajustado limitado ( $\omega_{s,lim}^*$ ) para la referencia de frecuencia angular.
2. Un sistema de control de un motor según la reivindicación 1, **caracterizado** porque el sistema de control del motor está adaptado para recibir una referencia de frecuencia angular inicial ( $\omega_{s0}^*$ ) generada por unos medios de interfaz de usuario, y para generar el valor de punto ajustado limitado ( $\omega_{s,lim}^*$ ) para la referencia de frecuencia angular basándose en datos iniciales que comprende la referencia de frecuencia angular inicial ( $\omega_{s0}^*$ ).
3. Un sistema de control de un motor según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado** porque los medios limitadores (8) de potencia están adaptados para generar el término de corrección ( $\omega_{s,cor}$ ) para la referencia de frecuencia angular con la ecuación

$$\omega_{s,cor} = \text{sign}(\omega_{s,lim}^*) I_p .$$

4. Un sistema de control de un motor según cualquier reivindicación precedente, **caracterizada** porque la primera variable proporcional al valor real de la potencia del motor eléctrico (2) es un valor absoluto de una potencia verdadera estimada ( $\hat{P}$ ) del motor eléctrico (2), y el primer parámetro proporcional al valor límite de la potencia del motor eléctrico (2) es el límite de potencia ( $P_{lim}$ ) del motor eléctrico (2).
5. Un sistema de control de un motor según la reivindicación 4, **caracterizado** porque en un modo de regeneración los datos iniciales de los medios controladores integradores incluyen además información relativa a una potencia dinámica ( $\hat{P}_{dyn}$ ) del motor eléctrico (2).
6. Un sistema de control de un motor según la reivindicación 5, **caracterizado** porque la potencia dinámica ( $\hat{P}_{dyn}$ ) del motor eléctrico (2) se calcula con la ecuación

$$\hat{P}_{dyn} = \frac{J}{p^2} \frac{d}{dt} \omega_s^* ,$$

en donde J es la inercia del motor eléctrico (2) y p es el número de pares de polos del motor eléctrico (2).

7. Un sistema de control de un motor según la reivindicación 5 o 6, **caracterizado** porque en el modo de regeneración la salida  $I_p$  de los medios controladores integradores (10) se calcula con la ecuación

$$I_p = k_{ip} \int (\hat{P} - P_{lim} + \hat{P}_{dyn}) dt \quad I_p \geq 0$$

en donde  $k_{ip}$  es la ganancia de los medios controladores integradores (10).

8. Un sistema de control de un motor según una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7, **caracterizado**



porque el límite de potencia ( $P_{lim}$ ) del motor eléctrico (2) es una función de una variable de frecuencia angular de tal manera que el límite de potencia ( $P_{lim}$ ) se reduce de forma inversamente proporcional a la variable de frecuencia angular cuando la variable de frecuencia angular excede un punto de frecuencia umbral de elevación ( $\omega_{cp}$ ), siendo la variable de frecuencia angular una variable relacionada con la frecuencia angular del motor eléctrico (2).

5 9. Un sistema de control de un motor según la reivindicación 8, **caracterizado** porque la variable de frecuencia angular es la referencia de frecuencia angular final ( $\omega_s^*$ ) o un valor real de una frecuencia de estator ( $\omega_s$ ) del motor eléctrico (2).

10 10. Un sistema de control de un motor según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 9, **caracterizado** porque el sistema de control del motor comprende además unos medios limitadores (14) de régimen adaptados para generar un valor de punto ajustado limitado ( $\omega_{s,lim}^*$ ) para la referencia de frecuencia angular limitando la primera derivada de la señal de entrada de los medios limitadores (14) de régimen.

15 11. Un sistema de control de un motor según la reivindicación 10, **caracterizado** porque el sistema de control del motor comprende además unos medios de saturación (12) adaptados para generar una referencia de frecuencia angular saturada ( $\omega_{s,sat}^*$ ) imponiendo un límite superior ( $\omega_{s0,max}$ ) y un límite inferior ( $\omega_{s0,min}$ ) a la referencia de frecuencia angular inicial ( $\omega_{s0}^*$ ), estando adaptados además los medios de saturación (12) para alimentar la referencia de frecuencia angular inicial saturada ( $\omega_{s,sat}^*$ ) a los medios limitadores (14) de régimen como la señal de entrada de los medios limitadores (14) de régimen.

20 12. Un sistema de control de un motor según la reivindicación 11, **caracterizado** porque los medios limitadores (8) de potencia están adaptados, cuando la señal de salida  $I_p$  de los medios controladores integradores (10) es mayor que cero, para asignar al límite superior ( $\omega_{s0,max}$ ) para la referencia de frecuencia angular inicial un valor igual al valor absoluto del valor de punto ajustado limitado ( $\omega_{s,lim}^*$ ) para la referencia de frecuencia angular, y cuando la señal de salida  $I_p$  de los medios controladores integradores (10) es cero, para asignar al límite superior ( $\omega_{s0,max}$ ) para la referencia de frecuencia angular una frecuencia angular máxima predeterminada ( $\omega_{s,max}$ ) del motor eléctrico (2).

25 13. Un mecanismo de accionamiento de un montacargas que comprende un motor eléctrico (2), un sistema de control del motor y un miembro de elevación (4), estando conectado operativamente el motor eléctrico (2) al miembro de elevación (4) para elevar una carga (6), **caracterizado** porque el sistema de control del motor incluye un sistema de control de motor según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12.

14. Un método para controlar un motor eléctrico de un mecanismo de accionamiento de un montacargas, comprendiendo el método los pasos de:

30 recibir una referencia de frecuencia angular inicial ( $\omega_{s0}^*$ );

generar un valor de punto ajustado limitado ( $\omega_{s,lim}^*$ ) para la referencia de frecuencia angular, que sea de régimen limitado, basándose en datos iniciales que comprenden la referencia de frecuencia angular inicial ( $\omega_{s0}^*$ );

35 generar un término de corrección ( $\omega_{s,cor}$ ) para la referencia de frecuencia angular usando un control integrador (10), siendo proporcional el término de corrección ( $\omega_{s,cor}$ ) para la referencia de frecuencia angular proporcional a la señal de salida  $I_p$  del control integrador, incluyendo los datos iniciales del control integrador (10) una primera variable proporcional al valor real de la potencia del motor eléctrico (2) y un primer parámetro proporcional al valor límite de la potencia del motor eléctrico (2);

40 en donde un cálculo de la señal de salida  $I_p$  del control integrador (10) comprende restar dicho primer parámetro de dicha primera variable, delimitándose la señal de salida  $I_p$  del control integrador (10), de tal manera que siempre sea mayor o igual que cero; y

generar una referencia de frecuencia angular ( $\omega_s^*$ ) para el control del motor eléctrico (2) restando el término de corrección ( $\omega_{s,cor}$ ) para la referencia de frecuencia angular respecto del valor de punto ajustado limitado ( $\omega_{s,lim}^*$ ) para la referencia de frecuencia angular.

45 15. Un programa de ordenador para ejecutar el método según la reivindicación 14.

Fig. 1

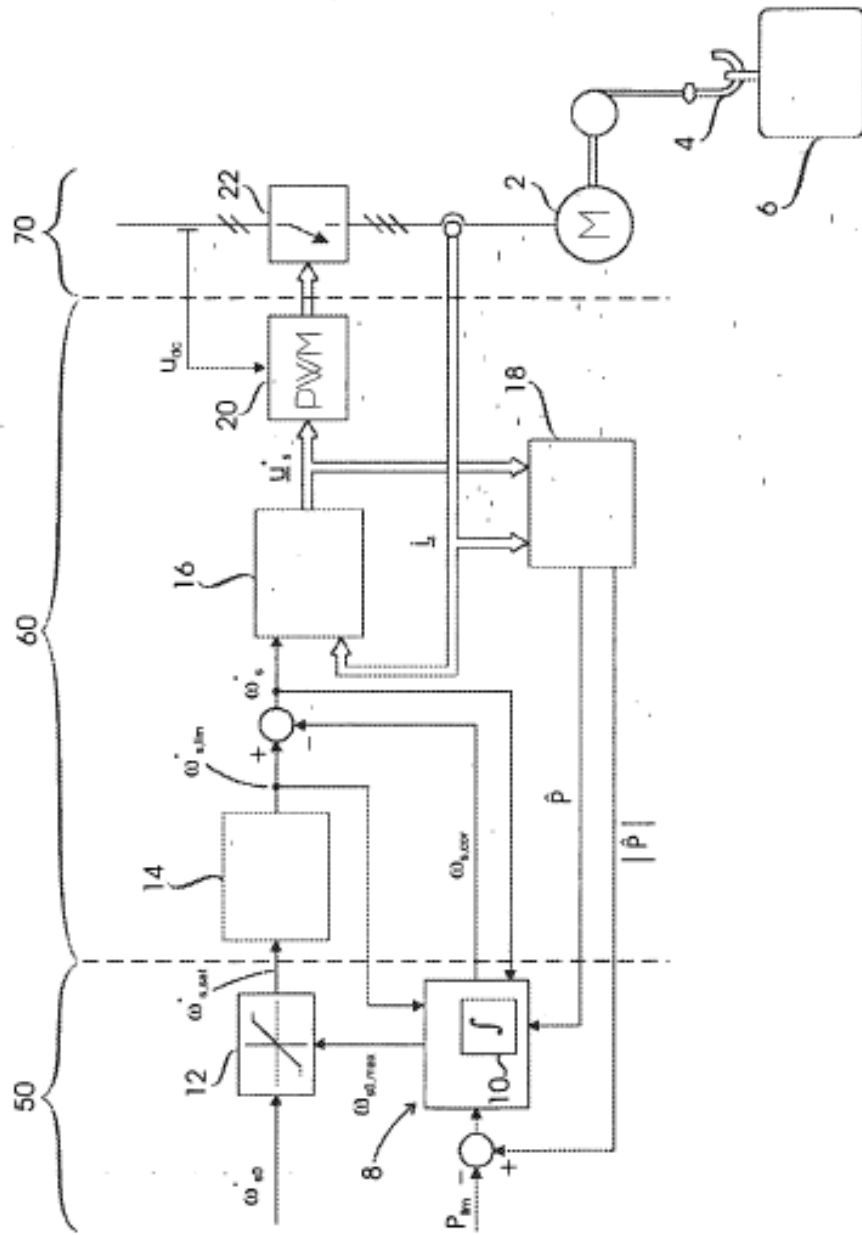


Fig. 2

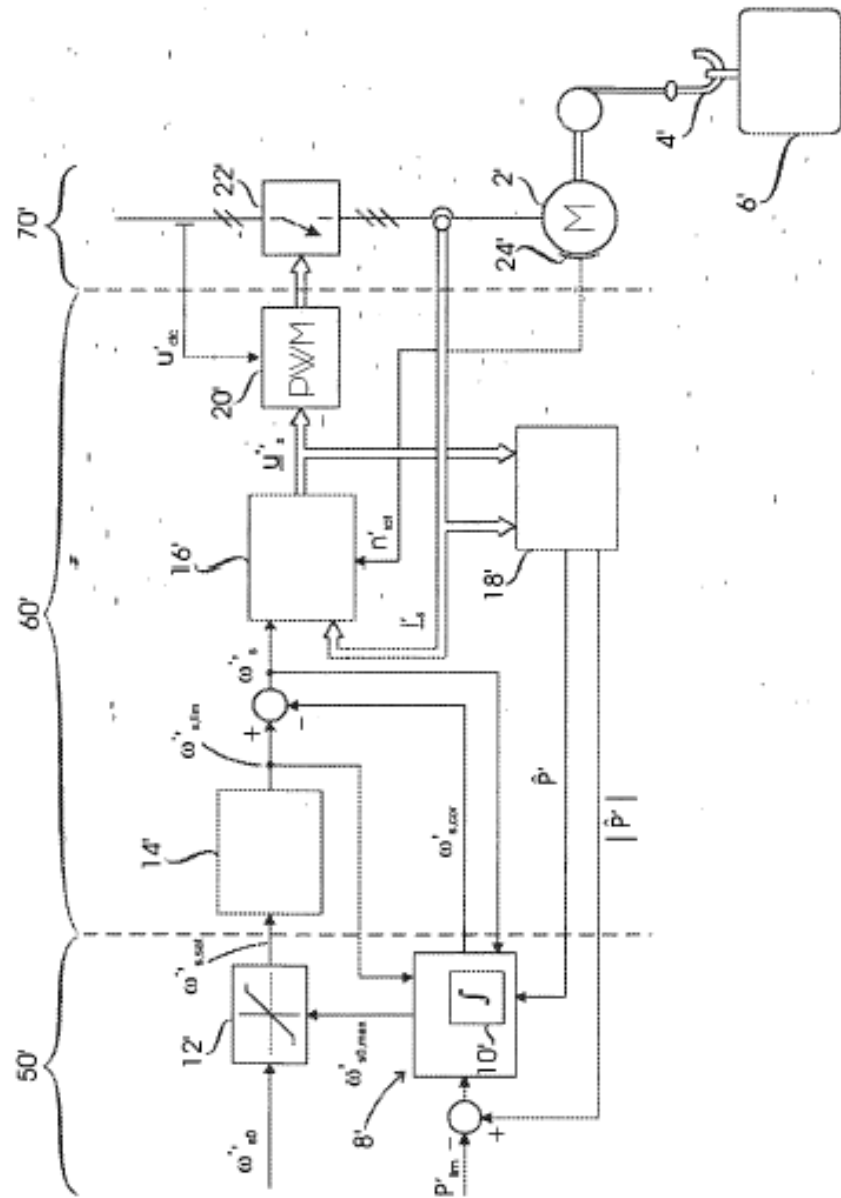


Fig. 3

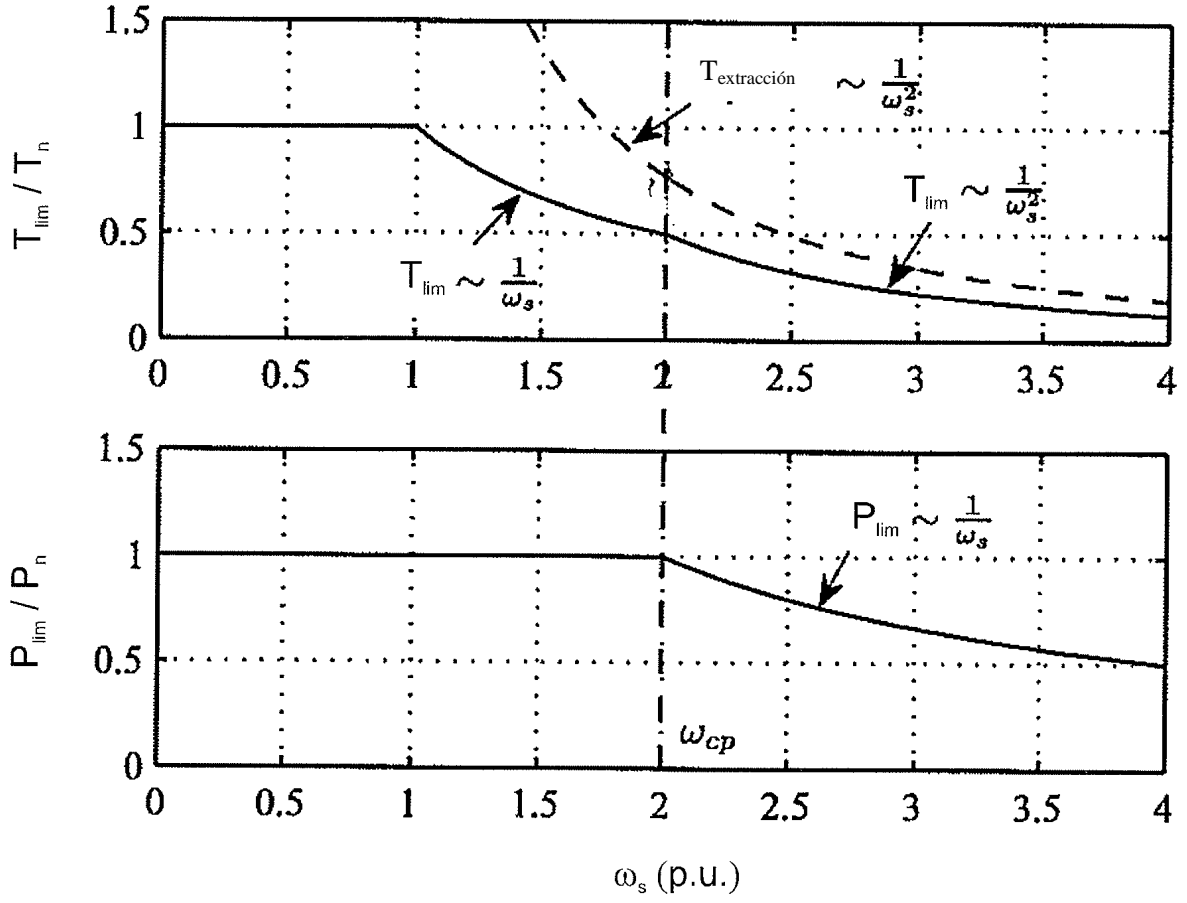


Fig. 4

