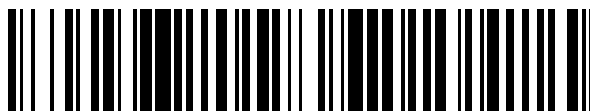


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 527 739**

51 Int. Cl.:

B66C 13/08 (2006.01)

B66C 13/46 (2006.01)

B66C 13/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.04.2008 E 12004726 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.12.2014 EP 2502871**

54 Título: **Control de grúa, grúa y procedimiento**

30 Prioridad:

16.05.2007 DE 102007023027

21.08.2007 DE 102007039408

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

29.01.2015

73 Titular/es:

**LIEBHERR-WERK NENZING GMBH (100.0%)
Dr.-Hans-Liebherr-Strasse 1
6710 Nenzing, AT**

72 Inventor/es:

**SCHNEIDER, KLAUS, DR. DIPL.-ING.;
SAWODNY, OLIVER, PROF. DR.-ING. y
NEUPERT, JÖRG, DIPL.-ING.**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 527 739 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

Control de grúa, grúa y procedimiento

La presente invención se refiere a un control de grúa de una grúa que tiene al menos unos ramales de cable primero y segundo para elevar una carga según el preámbulo de la reivindicación 1. La presente invención se refiere también a un procedimiento para activar los mecanismos de regulación de una grúa según el preámbulo de la reivindicación 10. El control de grúa activa a este respecto los mecanismos de regulación de la grúa. En particular, en el caso de la grúa se trata de una grúa de pluma que tiene una pluma que se puede hacer pivotar con respecto a un eje horizontal que está articulada en una torre que puede girar alrededor de un eje vertical. Para ello están previstos como mecanismos de regulación un mecanismo basculante y un mecanismo de giro. El cable para elevar la carga discurre a este respecto por la punta de la pluma, en particular por una o varias poleas de desviación dispuestas en la misma, de modo que la carga se puede mover en la dirección tangencial mediante un giro de la torre y en la dirección radial mediante una basculación de la pluma. En la realización de la invención, ambos ramales de cable discurren desde la punta de la pluma hacia un elemento de recepción, como, por ejemplo, un gancho. La longitud del cable se puede ajustar a este respecto mediante un accionamiento correspondiente para mover la carga en la dirección vertical. En particular, el control de grúa según la invención se refiere a este respecto en general a grúas giratorias así como a grúas móviles para puertos, grúas de barco, grúas offshore, grúas de automóvil y grúas sobre orugas.

Por los documentos DE 100 64 182 y DE 103 24 692, cuyo contenido total constituye una parte de la presente invención, son conocidos a este respecto controles de grúa cuyos conceptos de control y automatización evitan el movimiento pendular de la carga en el cable en caso de un movimiento de la grúa.

Por los documentos DE 100 29 579 y DE 10 2006 033 277, cuyo contenido también constituye una parte de la presente solicitud, son conocidos además controles de grúa que evitan una oscilación giratoria de la carga en el cable.

El documento FR 2 445 299 A1 da a conocer un control de grúa para la activación de los mecanismos de regulación de una grúa, que tiene al menos unos ramales de cable primero y segundo para elevar la carga, con una amortiguación de oscilaciones de carga que es adecuada para amortiguar oscilaciones pendulares esféricas de la carga. Están previstas unas unidades de sensor primera y segunda que están asignadas a los ramales de cable primero y segundo para determinar los respectivos ángulos de cable. La amortiguación de oscilaciones de carga tiene una regulación en la que entran los ángulos de cable determinados por las unidades de sensor primera y segunda.

En los controles de grúa anteriormente mencionados se emplean a este respecto para la determinación de la oscilación de carga unidades de giroscopio que están dispuestas en el gancho de grúa y que determinan la velocidad angular del cable. El ángulo de cable se determina a este respecto mediante un circuito observador que integra el movimiento del cable. Para poder compensar el desplazamiento que se produce a este respecto se parte de un péndulo que oscila libremente cuya posición de descanso corresponde a un ángulo de cable perpendicular. Un procedimiento de este tipo es muy adecuado para la amortiguación pendular de cable, ya que para ello se tienen que vigilar sobre todo los movimientos del cable en caso de una oscilación libre de la carga en el cable. Sin embargo, una determinación de la orientación absoluta del cable, en particular antes de que la carga pueda oscilar libremente, ni está prevista ni es posible con los controles de grúa conocidos. Además, disposiciones de sensor y controles de grúa conocidos tenían el inconveniente de que no se tenían en cuenta influencias perturbadoras como el giro del campo de cable en la amortiguación de oscilaciones de carga para amortiguar las oscilaciones pendulares esféricas de la carga.

Sin embargo, sistemas conocidos tal como se utilizan, por ejemplo, en grúas con un carro de grúa que se puede mover sólo en la dirección horizontal, y que emplean sistemas de cámara de medición para determinar el ángulo de cable absoluto, no se pueden emplear en particular en grúas de pluma. Sistemas de cámara de medición siempre tienen que estar dispuestos directamente detrás del punto fijo de cable para poder determinar el ángulo de cable. Sin embargo, en grúas de pluma en las que el cable está guiado de manera móvil a través de una polea dispuesta en el cabezal de pluma no existe un punto fijo de cable, ya que también cambia el punto de salida de cable con el ángulo de cable. Sensores de valores medidos que determinan mecánicamente el ángulo de cable con respecto a la pluma tampoco son adecuados para medir el ángulo de cable absoluto, ya que, en primer lugar, éstos funcionan de manera imprecisa y, además, llevan a resultados incorrectos en caso de una deformación de la grúa. Además, todos estos sistemas determinan siempre sólo el ángulo de cable con respecto a la pluma, y, con ello, sólo serían adecuados de forma indirecta para determinar el ángulo de cable absoluto, de modo que hasta ahora se ha prescindido completamente de soluciones de este tipo.

Por tanto, el maquinista de grúa debe seguir orientando la grúa manualmente y a la vista antes de la elevación o al inicio de la elevación de modo que el cable queda orientado fundamentalmente de manera perpendicular. Sin embargo, precisamente en el caso de la gran distancia con respecto a la carga, esto es posible a menudo sólo con

5 dificultades extremas, de modo que resultan desviaciones del ángulo de cable con respecto a la perpendicular que en caso de una elevación de la carga llevan a oscilaciones no deseadas. La misma problemática resulta cuando el cable está orientado de manera perpendicular antes de la elevación debido a un desequilibrio de la carga pero se cambia el ángulo de cable en la elevación de la carga debido al movimiento del centro de gravedad de la carga por debajo del punto de absorción de carga. Asimismo, el hecho de que la estructura de grúa ceda bajo la carga en la elevación de la carga puede cambiar de manera no deseada el ángulo de cable. En grúas offshore se produce adicionalmente el problema de que se puede cambiar el ángulo de cable debido a un movimiento relativo de un barco que soporta la carga con respecto a la grúa offshore.

10 Se proporciona un control de grúa mediante el que se posibilita una orientación más sencilla y más segura de la grúa en particular antes y durante la elevación de la carga. Además, el objetivo de la presente invención es posibilitar una amortiguación mejorada de las oscilaciones pendulares esféricas de la carga.

15 Según la invención, este objetivo se consigue mediante un control de grúa según la reivindicación 1. Éste tiene preferiblemente una unidad de sensor para determinar un ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad. Mediante esta unidad de sensor se puede determinar directamente el ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad de modo que se simplifica considerablemente la orientación perpendicular del cable. De este modo se aumenta además la seguridad en la elevación.

20 La unidad de sensor tiene a este respecto habitualmente un elemento que se orienta bajo la influencia de la fuerza de gravedad y mediante el que se puede determinar el ángulo del cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad. En particular se puede emplear a este respecto cualquier tipo de nivel de burbuja eléctrico. En la realización más sencilla, la unidad de sensor puede determinar a este respecto sólo si el cable está orientado de manera perpendicular o no. En realizaciones más complicadas se puede determinar además la dirección de la desviación con respecto a la perpendicular y en realizaciones adicionales se puede determinar el valor de la desviación con respecto a la perpendicular.

25 Mediante la unidad de sensor se puede determinar a este respecto el ángulo de cable en al menos una dirección con respecto a la dirección de gravedad, por ejemplo, en la dirección radial o en la dirección tangencial, para poder determinar y, dado el caso, compensar una desviación del ángulo de cable con respecto a la perpendicular en esta dirección. De manera ventajosa, el ángulo de cable se determina a este respecto tanto en la dirección tangencial como en la dirección radial, ya que sólo así es posible una orientación realmente perpendicular del cable. Para ello, la unidad de sensor puede tener al menos dos sensores que sirven respectivamente para la determinación del ángulo de cable radial o del ángulo de cable tangencial con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad. Mediante una unidad de sensor de este tipo se vuelve posible una orientación precisa de la grúa en la elevación de la carga, de modo que el cable queda orientado de manera perpendicular. También se puede emplear la unidad de sensor para funciones de vigilancia y aseguramiento.

35 Según la invención, la regulación del control de grúa según la invención es no lineal. Una regulación no lineal de este tipo es especialmente ventajosa, ya que, en particular en el caso de grúas de pluma, el sistema global compuesto por la grúa, mecanismos de regulación como, por ejemplo, cilindros hidráulicos y la carga es no lineal y, por tanto, aparecen errores considerables en caso de una regulación meramente lineal. En cambio, todo el trayecto de regulación compuesto por la regulación no lineal y el comportamiento no lineal de la grúa a su vez proporciona según la invención un trayecto lineal de modo que se simplifica considerablemente la activación del sistema. Además, la regulación se basa a este respecto en la inversión de un modelo físico no lineal del movimiento de la carga en función de los movimientos de los mecanismos de regulación, sirviendo mediante la inversión el movimiento de la carga como magnitud de entrada para activar los mecanismos de regulación.

45 De manera ventajosa, en el caso de este modelo físico se trata de un modelo no lineal, de modo que a partir de su inversión resulta la regulación no lineal según la invención. La combinación del modelo físico invertido y el movimiento real de la carga en función de los movimientos de los mecanismos de regulación proporciona entonces de nuevo el trayecto lineal anteriormente descrito. Magnitudes de entrada del modelo físico son a este respecto el vector de estado de la grúa. Basándose en estas magnitudes de entrada, el modelo no lineal indica entonces el movimiento de la carga como magnitud de salida. Mediante la inversión de un sistema de este tipo, el movimiento de la carga sirve como una magnitud de entrada para activar los mecanismos de regulación de la grúa.

50 Además, de manera ventajosa está prevista además de la unidad de sensor para la determinación de un ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad al menos una unidad de giroscopio para la medición de una velocidad de ángulo de cable. En particular, esta unidad de giroscopio se puede emplear además para la amortiguación de oscilaciones en caso de una carga que oscila libremente, para lo que la unidad de sensor habitualmente no puede proporcionar datos con una precisión suficiente para la determinación del ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad. La orientación de la grúa se puede realizar entonces en primer lugar basándose en la unidad de sensor para la determinación del ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad hasta que la carga cuelgue libremente en el cable. A continuación se puede añadir la amortiguación pendular de cable automática que funciona basándose en la unidad de giroscopio.

ES 2 527 739 T3

La unidad de giroscopio mide la velocidad de ángulo de cable a este respecto en al menos una dirección, por ejemplo, en la dirección radial o en la dirección tangencial. Sin embargo, de manera ventajosa, se determinan tanto la velocidad de ángulo de cable tangencial como la velocidad de ángulo de cable radial, para lo que la unidad de giroscopio tiene de manera ventajosa al menos dos giroscopios dispuestos de manera correspondiente.

5 El control de grúa comprende al menos dos unidades de sensor para la determinación de los ángulos de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad que están asignadas a diferentes ramales de cable. De este modo se puede tener en cuenta un giro de campo de cable que corresponde a una rotación de la carga. Si en este caso se empleara en varios ramales de cable sólo una unidad de sensor, entonces un cambio de campo de cable llevaría en cambio a valores de medición falsificados.

10 En particular se puede determinar mediante las al menos dos unidades de sensor el giro de campo de cable y, con ello, el giro de la carga. Esto posibilita compensar antes del inicio de la elevación también el campo de giro de cable, por ejemplo, mediante un giro del medio de absorción de carga con respecto a la carga.

Además, de manera ventajosa están previstas al menos también dos unidades de giroscopio para la medición de las velocidades de ángulo de cable que están asignadas a diferentes ramales de cable. Así, el giro de campo de cable se puede tener en cuenta, por ejemplo, también en la activación de amortiguación de oscilaciones.

15 Además, de manera ventajosa están dispuestas a este respecto la unidad de sensor y/o la unidad de giroscopio en un elemento de seguimiento de cable que en particular está conectado mediante una conexión cardán con una pluma de la grúa y que se guía en el cable. El elemento de seguimiento de cable está conectado a este respecto preferiblemente mediante la conexión cardán con el cabezal de pluma de la grúa y sigue a los movimientos del cable en el que está guiado mediante rodillos. Mediante una medición del movimiento del elemento de seguimiento de cable se pueden determinar así los movimientos del cable.

20 Si la grúa tiene al menos dos ramales de cable para elevar la carga, además, de manera ventajosa están previstos al menos dos elementos de seguimiento de cable que están asignados a diferentes ramales de cable. Dado que el gancho de la grúa cuelga en la mayoría de los casos en varios ramales de cable, se pueden tener en cuenta así también giros de campo de cable.

25 Además, de manera ventajosa, el control de grúa según la invención tiene una unidad de indicación para indicar una desviación que resulta del ángulo de cable medido, en particular para indicar un ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad y/o con respecto a una desviación horizontal que resulta de ello de la carga. Mediante esta indicación se le facilita considerablemente al maquinista de grúa la orientación del cable en la dirección perpendicular.

30 De manera ventajosa, la indicación indica a este respecto de manera óptica y/o acústica una posición de cable perpendicular. De este modo es posible que el maquinista de grúa oriente el cable de manera correspondiente.

35 Además, de manera ventajosa, la indicación indica además la dirección en la que se desvía el cable con respecto a la perpendicular. Además, de manera ventajosa, la indicación indica además el valor absoluto de la desviación. En este caso es concebible, por ejemplo, una indicación gráfica en la que se indican el ángulo del cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad así como además de manera ventajosa los ángulos de cable máximos admisibles. De manera alternativa o adicional se puede indicar también la desviación horizontal de la carga con respecto a la posición en la que se encontraría la carga en caso de una posición de cable perpendicular, de manera ventajosa junto con la desviación horizontal máxima admisible. Así, el maquinista de grúa puede trabajar con

40 indicaciones de distancia familiares para él y puede orientar de manera más sencilla la grúa.

Además, de manera ventajosa está previsto un dispositivo de aviso que avisa al maquinista de grúa en caso de superar un intervalo de valores admisible en caso de una desviación que resulta del ángulo de cable medido, en particular para el ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad y/o para la desviación horizontal de la carga, en particular mediante una señal óptica y/o acústica. Así, el maquinista de grúa puede

45 reaccionar en caso de una superación de este tipo del intervalo de valores admisible y evitar daños de la estructura de grúa o accidentes. Por ejemplo, el maquinista de grúa puede detener el movimiento de la grúa en caso de superar el intervalo de ángulos admisible, o, en caso de que se trate de una grúa offshore en la que la carga que, por ejemplo, se encuentra en un barco, se mueve de modo que se aleja de la grúa offshore mediante un movimiento relativo del barco con respecto a la grúa, puede evitar una sobrecarga mediante una liberación parcial del cable o de

50 los mecanismos de giro de la grúa.

Además, de manera ventajosa está previsto un dispositivo de protección, en particular un mecanismo de protección frente a sobrecargas, que en caso de superar un intervalo de valores admisible en caso de una desviación que resulta del ángulo de cable medido, en particular para el ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad y/o para la desviación horizontal de la carga, interviene automáticamente en el control de la grúa, en

particular para evitar una sobrecarga de la grúa. En particular, el ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad se puede incluir así en la limitación automática del par de carga de la grúa. Esto aumenta considerablemente la seguridad de la operación, ya que limitaciones de par de carga conocidas no pueden tener en cuenta este parámetro y las cargas que se producen debido a una colocación oblicua excesiva del cable sólo se tenían que tener cuenta mediante los otros sensores de valores de medición.

De manera ventajosa, el mecanismo de protección frente a sobrecargas detiene a este respecto automáticamente el movimiento de la grúa. De este modo se evita que se produzca una sobrecarga de la estructura de grúa debido a una colocación oblicua excesiva del cable. Asimismo, mediante el dispositivo de aseguramiento se pueden evitar, además de la sobrecarga de la grúa, también accidentes, por ejemplo, al evitarse automáticamente una elevación de la carga en caso de superar el intervalo de valores admisible para evitar una oscilación demasiado intensa en la liberación de la carga.

En particular cuando se trata de una grúa offshore, el mecanismo de protección frente a sobrecargas también puede liberar al menos en parte el movimiento de la grúa y/o del cable, realizándose la liberación a este respecto de manera ventajosa de manera controlada con cierta fuerza contraria. Si, por ejemplo, el gancho de la grúa se engancha en un barco que se aleja de la grúa offshore, así, por ejemplo, se puede liberar de manera controlada el cable o el movimiento giratorio de la grúa para evitar una sobrecarga de la grúa. La unidad de sensor para la determinación de un ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad proporciona en este caso un mecanismo de protección frente a sobrecargas muy fiable, mientras que mecanismos de protección frente a sobrecargas conocidos dependerían en este caso sólo de un sensor de fuerza de cable a través del que, sin embargo, un caso de sobrecarga sólo se puede diferenciar con dificultad de un caso de carga.

Sin embargo, además, de manera ventajosa, el control de grúa según la invención, en particular el dispositivo de aviso y/o el mecanismo de protección frente a sobrecargas, evalúa adicionalmente datos de un sensor de fuerza de cable. De este modo se pueden comprobar los datos de la unidad de sensor para la determinación del ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad, de modo que en particular en caso de una intervención automática del control de grúa en el movimiento de la grúa se da una seguridad adicional mediante una redundancia.

De manera ventajosa se determina el giro de campo de cable de los al menos dos ramales de cable. Dado que, en caso de un mero giro de la carga, los cables exteriores están desviados respectivamente en direcciones contrarias sin que la carga estuviera desviada con respecto a la perpendicular, este giro de campo de cable se tiene en cuenta de manera ventajosa en la determinación del ángulo de cable real. El ángulo de cable que se emplea en la indicación, en el dispositivo de aviso y/o en el mecanismo de protección frente a sobrecargas corresponde de este modo a la desviación real de la carga con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad, de modo que se puede evitar de manera eficaz una oscilación de la carga y posibles giros de campo de cable no llevan a valores erróneos.

De manera ventajosa, el control de grúa según la invención comprende a este respecto una unidad de indicación para la indicación del giro de campo de cable. Así, el propio giro de campo de cable también se puede indicar en la indicación de modo que se puede compensar mediante una activación de una unidad de rotor correspondiente en el dispositivo de absorción de carga. Asimismo, el giro de campo de cable puede entrar de manera ventajosa en la activación del dispositivo de aviso así como del mecanismo de protección frente a sobrecargas.

En el control de grúa según la invención está previsto por tanto de manera ventajosa un dispositivo de aviso que avisa al maquinista de grúa en caso de superar un intervalo de valores admisible para el giro de campo de cable, en particular mediante una señal óptica y/o acústica. Así, se le avisa al maquinista de grúa una oscilación giratoria de la carga en la elevación con un campo de cable girado.

En el control de grúa según la invención está previsto también de manera ventajosa un dispositivo de aseguramiento, en particular un mecanismo de aseguramiento frente a un giro, que en caso de superar un intervalo de valores admisible para el giro de campo de cable interviene automáticamente en el control de la grúa. Por ejemplo, se puede evitar a este respecto automáticamente una elevación de la carga en caso de un aumento demasiado intenso del campo de cable.

Además, de manera ventajosa, el control de grúa según la invención tiene una amortiguación de oscilaciones de carga automática. En particular se puede activar de este modo el movimiento de la grúa de modo que se evita una oscilación de la carga que oscila libremente en caso de un movimiento de la grúa. La unidad de sensor para la determinación del ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad se puede utilizar a este respecto al inicio de la elevación para la orientación perpendicular del cable, mientras que la amortiguación de oscilaciones de carga se activa cuando la carga cuelga libremente en el cable. Así se puede evitar una oscilación de la carga en la elevación mediante la orientación correcta del cable y una oscilación de la carga en el movimiento de ésta en la dirección horizontal mediante la amortiguación de oscilaciones de carga.

De manera ventajosa, la amortiguación de oscilaciones de carga se basa a este respecto en los datos de al menos una unidad de giroscopio. Dado que con un giroscopio se puede determinar la velocidad de ángulo de cable, es especialmente adecuado para su uso en una amortiguación de oscilaciones de carga.

5 De manera ventajosa se utiliza a este respecto la unidad de sensor para la determinación del ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad para la vigilancia y/o el calibrado de la unidad de giroscopio. En particular cuando se inicia la elevación en caso de una colocación de cable oblicua y una carga apoyada, la amortiguación de oscilaciones de carga, que habitualmente parte de una carga que oscila libremente, empezaría entonces con valores erróneos. También se pueden utilizar las unidades de sensor o unidades de giroscopio para la vigilancia respectivamente mutua para detectar funciones erróneas.

10 De manera ventajosa está prevista además una función para la orientación automática de la grúa mediante la que se orienta el cable de manera perpendicular por encima de la carga. De este modo, el maquinista de grúa ya no tiene que orientar manualmente la grúa, por ejemplo, mediante la indicación, sino que esto se realiza automáticamente en caso de una petición correspondiente del maquinista de grúa mediante una unidad de mando. De manera ventajosa está prevista a este respecto una función de seguridad que, por ejemplo, actúa conjuntamente con un sensor de fuerza de cable para evitar un movimiento no controlado de la grúa en caso de una función errónea de la unidad de sensor para la determinación del ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad.

15 Además, de manera ventajosa está prevista también una función para la orientación automática de la grúa mediante la que se compensa un giro de campo de cable. Ésta activa de manera ventajosa una unidad de rotor en el dispositivo de absorción de carga, por ejemplo, en el spreader, mediante la que se puede girar la parte del dispositivo de absorción de carga que está unida con los cables con respecto a la carga.

20 Además, de manera ventajosa, el control de grúa según la invención tiene una memoria para el almacenamiento de datos de carga basándose en el ángulo de cable que sirven para calcular la vida útil y/o para la documentación, por ejemplo, de un uso no correcto. Una detección de datos de máquina de este tipo de la posición de cable para la determinación de conjunto de carga y para la documentación posibilita así un cálculo más exacto de la vida útil y, con ello, una seguridad aumentada con costes ahorrados.

25 La presente invención comprende además un procedimiento para activar los mecanismos de regulación de una grúa según la reivindicación 10. De manera ventajosa, los ángulos de cable radiales y/o tangenciales se determinan con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad.

30 En particular se simplifica de este modo considerablemente la orientación de la grúa antes y en la elevación de la carga. De manera ventajosa, se determina a este respecto, además de un ángulo de cable que corresponde a la desviación real de la carga con respecto a la perpendicular, adicionalmente el giro de campo de cable cuando se utilizan varios ramales de cable para elevar la carga. Para ello se determinan los ángulos de cable de al menos dos ramales de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad. A partir de estos datos se puede determinar entonces tanto el ángulo de cable, que corresponde a la desviación de la carga, como el giro de campo de cable que corresponde al giro de la carga.

35 De manera ventajosa, a este respecto, el cable se lleva a una orientación perpendicular antes de la elevación de la carga. De este modo se puede evitar que, al elevar la carga, ésta se deslice lateralmente debido a una posición oblicua del cable, se gire de manera no controlada debido a un apoyo diferente sobre la base o ya realice un movimiento pendular durante la elevación. La orientación perpendicular de la carga se puede realizar a este respecto, por ejemplo, por parte del maquinista de grúa mediante la indicación según la invención del ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad. También es concebible que esta orientación se realice automáticamente mediante el control de grúa, tal como ya se describió.

40 Además, de manera ventajosa, el giro de campo de cable se lleva a cero antes de la elevación de la carga para evitar una rotación de la carga durante la elevación. Esto se realiza, por ejemplo, mediante una rotación correspondiente de la carga en el medio de absorción de carga mediante una disposición de rotor.

45 Asimismo, durante la operación de elevación se pueden producir desviaciones del ángulo de cable con respecto a la perpendicular debido a diferentes efectos. De manera ventajosa se compensa por tanto también una desviación del ángulo de cable con respecto a la perpendicular durante la elevación de la carga. De manera ventajosa se determina para ello el ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad durante la elevación de la carga, de modo que se pueden compensar desviaciones que se producen posiblemente durante la operación de elevación.

50 De manera ventajosa se determina a este respecto un desequilibrio de la carga en la elevación de la carga mediante la determinación de la desviación que se produce de un ángulo de cable con respecto a la perpendicular. Si la carga tiene un desequilibrio, es decir, si el centro de gravedad de la carga no se encuentra por debajo del punto de absorción de carga, el punto de absorción de carga se mueve en primer lugar por encima del centro de gravedad en

la elevación de la carga de modo que cambia el ángulo de cable. Mediante este cambio del ángulo de cable se puede determinar y, dado el caso, compensar el desequilibrio de la carga. Un desequilibrio de este tipo de la carga también se puede indicar a este respecto, de modo que se puede compensar por parte del maquinista de grúa. También es concebible compensar automáticamente un desequilibrio de este tipo.

5 De manera ventajosa, el desequilibrio de la carga se compensa a este respecto basándose en la desviación de un ángulo de cable con respecto a la perpendicular mediante un movimiento de la carga en el medio de absorción de carga, en particular en el spreader. El spreader sirve a este respecto para recibir contenedores y tiene un desplazamiento longitudinal mediante el que se puede ajustar el punto de absorción de carga con respecto al contenedor. El maquinista de grúa puede mover ahora el punto de absorción de carga en el medio de absorción de
10 carga, por ejemplo, basándose en la desviación del ángulo de cable con respecto a la perpendicular que se produce en caso de una elevación de la carga debido al desequilibrio y que se indica mediante la indicación según la invención, y así compensar el desequilibrio. Si además se determina y se indica el desequilibrio de la carga, esto facilita el trabajo del maquinista de grúa. También es concebible que se realice una compensación automática del desequilibrio.

15 Una compensación de este tipo del desequilibrio de la carga, mediante la que se lleva el centro de gravedad de la carga con una orientación inalterada de la carga por debajo del punto de absorción de carga, posibilita así un movimiento de los contenedores dentro de las guías dentro del barco sin que éstos ladeen debido a una basculación.

De manera alternativa, la posición oblicua del cable, que se debe al desequilibrio de la carga en la elevación de la carga, también se puede compensar mediante un movimiento de la grúa cuando no sea posible una compensación
20 de este tipo del desequilibrio de la carga o cuando un ladeo de la carga no sea problemático. También esto se puede realizar manualmente a través del maquinista de grúa, por ejemplo, mediante una indicación, o automáticamente.

Debido a la carga de la estructura de grúa en la elevación de la carga, ésta se puede deformar de modo que cambia el ángulo de cable, también sin que la carga se moviera. De manera ventajosa, por tanto, en la elevación de la carga se determina según la invención la cesión de la estructura de grúa bajo la carga mediante la determinación de una
25 desviación del ángulo de cable con respecto a la perpendicular y/o se compensa la posición oblicua del cable provocada por la cesión de la estructura de grúa mediante un movimiento de la grúa. A este respecto, la determinación de la desviación o la compensación de esta desviación se puede realizar, a su vez, mediante el maquinista de grúa, por ejemplo, mediante una indicación, o automáticamente.

Además, de manera ventajosa, en caso de superar un intervalo de valores admisible para una desviación que
30 resulta del ángulo de cable medido, en particular para el ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad y/o para la desviación horizontal de la carga, se protege la estructura de grúa mediante contramedidas. En particular se puede detener a este respecto el movimiento de la grúa para evitar una sobrecarga.

En cambio, en particular en la activación de una grúa offshore, las contramedidas comprenden de manera ventajosa una liberación al menos parcial de los movimientos de grúa y/o del cable, por ejemplo, para evitar una sobrecarga de
35 la grúa en caso de un enganchado del medio de absorción de carga con un barco que se mueve de modo que se aleja de la grúa offshore.

Las contramedidas se pueden introducir a este respecto por el maquinista de grúa, al que se avisa para ello de manera ventajosa mediante una función de aviso, o automáticamente mediante un mecanismo de protección frente a sobrecargas automático correspondiente.

40 Además, de manera ventajosa, la presente invención comprende una grúa, en particular una grúa móvil para puertos, una grúa de barco o una grúa offshore que tiene un cable para elevar una carga y que está equipada con un control de grúa, tal como se ha descrito anteriormente. Asimismo, la invención comprende grúas de pluma y/o grúas giratorias correspondientes, así como grúas de automóvil y grúas sobre orugas. Evidentemente, para una grúa de este tipo resultan las mismas ventajas que ya se han descrito en el control de grúa.

45 Además de la realización descrita hasta el momento de la presente invención con una unidad de sensor para la determinación de un ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad, la presente invención comprende además un control de grúa que también se puede utilizar de manera ventajosa sin una unidad de sensor de este tipo en grúas que tienen al menos unos ramales de cable primero y segundo para elevar la carga.

50 El control de grúa según la invención sirve a este respecto para activar los mecanismos de regulación de una grúa que al menos tiene unos ramales de cable primero y segundo para elevar una carga, teniendo el control de grúa una amortiguación de oscilaciones de carga para amortiguar oscilaciones pendulares esféricas de la carga. Según la invención están previstas ahora unas unidades de sensor primera y segunda que están asignadas a los ramales de cable primero y segundo para determinar los respectivos ángulos de cable y/o velocidades de ángulo de cable de los ramales de cable primero y segundo. Además, la amortiguación de oscilaciones de carga tiene una regulación en la

que entran los ángulos de cable y/o las velocidades de ángulo de cable determinados por las unidades de sensor primera y segunda.

5 En comparación con disposiciones conocidas, en las que una unidad de sensor está colocada en el gancho de la grúa o sólo en un cable, resultan de este modo numerosas ventajas: por un lado resulta una redundancia de este elemento de seguridad crítica, de modo que sigue siendo posible una medición del ángulo de cable a través de la segunda unidad de sensor en caso de un fallo de una unidad de sensor. Asimismo se da la posibilidad de detectar errores de sensor. Además es posible conseguir mediante una formación de diferencia de los valores de medición una reducción de ruido, así como implementar mediante algoritmos de evaluación una compensación de torsión, es decir, la consideración de un giro de campo de cable en la determinación del ángulo de desviación real de la carga.

10 De manera ventajosa, los mecanismos de regulación activados por el control de grúa son a este respecto el mecanismo de giro para el giro de la grúa y/o el mecanismo basculante para la basculación de la pluma. Mediante la regulación correspondiente de esta activación mediante la amortiguación de oscilaciones de carga se pueden evitar así oscilaciones esféricas de la carga en el cable.

15 De manera ventajosa, las unidades de sensor primera y segunda comprenden a este respecto respectivamente una unidad de giroscopio. Los giroscopios miden a este respecto la velocidad de ángulo de cable, estando previstos de manera ventajosa dos giroscopios para medir la velocidad de ángulo de cable tanto en la dirección radial como en la dirección tangencial. A este respecto, giroscopios son especialmente adecuados para los requisitos de la regulación de la amortiguación de oscilaciones de carga.

20 Además, de manera ventajosa, las unidades de sensor primera y segunda de la presente invención están dispuestas a este respecto respectivamente en un elemento de seguimiento de cable. El elemento de seguimiento de cable sigue a este respecto al movimiento del ramal de cable al que está asignado. La unidad de sensor a su vez mide entonces el movimiento del elemento de seguimiento de cable a partir del que se puede determinar el movimiento del ramal de cable. Mediante los elementos de seguimiento de cable resulta una medición de ángulo de cable especialmente precisa y fiable.

25 De manera ventajosa, los elementos de seguimiento de cable están conectados a este respecto respectivamente mediante una articulación cardán con la pluma de la grúa y siguen al movimiento del ramal de cable al que están asignados. Sin embargo, la conexión de los elementos de seguimiento de cable mediante una articulación cardán sirve a este respecto de manera ventajosa sólo para la conexión mecánica así como para el guiado del elemento de seguimiento de cable, mientras que las unidades de sensor determinan el movimiento de los elementos de seguimiento de cable mediante las unidades de giroscopio según la invención.

30 De manera ventajosa, los datos medidos por las unidades de sensor primera y segunda se evalúan por unos circuitos observadores primero y segundo. Circuitos observadores de este tipo se emplean a este respecto para suprimir desplazamientos e influencias perturbadoras, como, por ejemplo, oscilaciones armónicas de cable. Los circuitos observadores sirven a este respecto para la integración de las velocidades de ángulo de cable medidas por los giroscopios y posibilitan una determinación fiable de los ángulos de cable.

35 Además, de manera ventajosa se realiza según la invención una compensación de los datos medidos por las unidades de sensor primera y segunda con respecto al ángulo de instalación de las unidades de sensor y con respecto al ángulo de giro de la grúa. De este modo, con software se pueden compensar influencias perturbadoras provocadas por un montaje erróneo. Si los niveles de sensibilidad de los giroscopios utilizados no se encuentran exactamente en la dirección tangencial y radial sino están basculados mediante un montaje erróneo, los sensores miden también de forma proporcional la velocidad de giro de la grúa. Esto se tiene en cuenta mediante la compensación según la invención.

40 Además, de manera ventajosa se detectan en el control de grúa según la invención errores de sensor mediante una comparación de los datos medidos por las unidades de sensor primera y segunda. Si una de las unidades de sensor falla, la velocidad angular aún se detecta por la otra unidad de sensor. De este modo se puede seguir asegurando la función básica del control de grúa. Mediante una formación de diferencia de las señales angulares de ambas unidades de sensor en las respectivas direcciones se puede detectar además un error de sensor en caso de superar un valor umbral. A este respecto, la grúa se puede llevar directamente a un estado seguro al aparecer un error de sensor.

45 Además, de manera ventajosa se tiene en cuenta la oscilación de torsión del campo de cable en la amortiguación de oscilaciones de carga mediante una promediación de los ángulos de cable y/o las velocidades de ángulo de cable determinados por las unidades de sensor primera y segunda. Un giro de campo de cable de este tipo influiría en la regulación utilizada para la amortiguación de la oscilación pendular esférica de la carga en caso de utilizar sólo una unidad de sensor. Si ahora se produce en el control de grúa según la invención una oscilación de torsión del campo de cable, las unidades de sensor en los dos elementos de seguimiento de cable miden exactamente una oscilación

parásita contraria tanto en la dirección tangencial como en la dirección radial. Sin embargo, según la invención se puede eliminar la influencia de esta oscilación de torsión mediante la promediación.

Además, de manera ventajosa, la amortiguación de oscilaciones de carga según la invención tiene a este respecto un módulo de planificación de trayecto que establece trayectorias deseadas para la regulación. Estas trayectorias deseadas establecen los movimientos que debe realizar la carga y sirven entonces en particular en el uso de un modelo invertido como magnitudes de entrada de la regulación. Mediante la regulación no lineal resulta a este respecto una implementación especialmente sencilla del módulo de planificación de trayecto, ya que éste sólo debe establecer trayectorias deseadas para el sistema lineal a partir de una regulación no lineal y un comportamiento de grúa no lineal. De este modo se puede conseguir un control de grúa extremadamente rápido con un comportamiento de reacción excelente con respecto a las especificaciones introducidas por el maquinista de grúa mediante elementos de entrada.

De manera ventajosa, a este respecto, el estado de sistema actual de la grúa, en particular la posición de la pluma y/o los ángulos de cable y/o las velocidades de ángulo de cable determinados por las unidades de sensor primera y segunda, entran como magnitud de entrada en el módulo de planificación de trayecto. En particular es importante a este respecto la posición de la pluma, ya que, por ejemplo, la velocidad radial máxima a alcanzar depende de ésta. De manera ventajosa, además, los ángulos de cable y/o las velocidades de ángulo de cable determinados por las unidades de sensor primera y segunda entran como magnitudes de entrada en el módulo de planificación de trayecto. Este circuito de regulación adicional posibilita por tanto una planificación de trayecto todavía más precisa teniendo en cuenta el ángulo de cable real y/o la velocidad de ángulo de cable real.

Además, de manera ventajosa, en el módulo de planificación de trayecto según la invención se tienen en cuenta limitaciones del sistema en la generación de las trayectorias deseadas. De este modo se evita que las magnitudes de guiado calculadas a partir de las especificaciones del maquinista de grúa infrinjan las limitaciones de magnitud de ajuste del sistema como, por ejemplo, la velocidad máxima. En particular cuando también el estado de sistema actual de la grúa entra como magnitud de entrada en el módulo de planificación de trayecto, se pueden tener en cuenta así también limitaciones del sistema que dependen de este estado de sistema. Por ejemplo, a este respecto, la velocidad radial máxima posible depende de la posición de la pluma.

Además, de manera ventajosa, la generación de trayectorias según la invención se basa a este respecto en un control óptimo. Un control óptimo de este tipo se puede implementar según la invención especialmente bien en tiempo real, ya que la regulación no lineal según la invención permite una implementación especialmente sencilla del módulo de planificación de trayecto.

Además, de manera ventajosa, el módulo de planificación de trayecto según la invención funciona con la predicción dentro del horizonte de tiempo con una longitud creciente del intervalo de cálculo. Mediante puntos de apoyo no equidistantes de este tipo para la predicción es también posible acortar considerablemente el tiempo de cálculo. A este respecto se eligen para el futuro próximo intervalos breves entre los puntos de apoyo, mientras que para el futuro a más largo plazo se eligen intervalos más grandes, de modo que en total resulta un número considerablemente reducido de etapas de cálculo.

Además, de manera ventajosa, también la posición y la velocidad del cabezal de pluma entran en la regulación de la amortiguación de oscilaciones de carga. De este modo resultan en el control de grúa según la invención circuitos de regulación tanto para la posición y la velocidad del cabezal de pluma como para el ángulo de cable y/o la velocidad de ángulo de cable del cable.

En un ejemplo de realización especialmente ventajoso, el sistema según la invención con dos unidades de sensor tiene a este respecto una o varias de las características que se han descrito anteriormente.

La presente invención comprende además una grúa para elevar una carga, con mecanismos de regulación para mover la grúa y la carga y con un control de grúa para activar los mecanismos de regulación, teniendo el control de grúa una amortiguación de oscilaciones de carga para amortiguar oscilaciones pendulares esféricas de la carga y teniendo la grúa al menos dos ramales de cable para elevar la carga. Según la invención están previstas a este respecto dos unidades de sensor que están asignadas a los dos ramales de cable para determinar los respectivos ángulos de cable y/o velocidades de ángulo de cable. Además, la amortiguación de oscilaciones de carga tiene a este respecto una regulación en la que entran los ángulos de cable y/o las velocidades de ángulo de cable determinados por las dos unidades de sensor. Mediante una grúa de este tipo resultan las mismas ventajas que ya se han descrito anteriormente con respecto al control de grúa según la invención.

Además, la grúa según la invención tiene a este respecto un control de grúa tal como se ha descrito anteriormente.

Además, de manera ventajosa, la grúa según la invención tiene a este respecto como mecanismos de regulación un mecanismo de giro para girar la grúa y/o un mecanismo basculante para bascular una pluma que se activan por el

control de grúa. Mediante la regulación correspondiente de esta activación mediante la amortiguación de oscilaciones de carga se pueden evitar así oscilaciones esféricas de la carga en el cable.

5 La presente invención comprende además un procedimiento para activar los mecanismos de regulación de una grúa que tiene al menos unos ramales de cable primero y segundo para elevar la carga, amortiguándose oscilaciones pendulares esféricas de la carga mediante una amortiguación de oscilaciones de carga. Según la invención, a este respecto, los ángulos de cable y/o las velocidades de ángulo de cable de los ramales de cable primero y segundo se determinan mediante unas unidades de sensor primera y segunda que están asignadas a los ramales de cable primero y segundo y entran en la regulación de la amortiguación de oscilaciones de carga. Mediante este procedimiento resultan las mismas ventajas que las descritas anteriormente con respecto al control de grúa.

10 De manera ventajosa se realiza a este respecto según la invención una compensación de los datos medidos por las unidades de sensor primera y segunda con respecto al ángulo de instalación de las unidades de sensor y con respecto al ángulo de giro de la grúa. De este modo se pueden compensar desviaciones del ángulo de instalación de las unidades de sensor con respecto a una orientación radial o tangencial exacta.

15 Además, de manera ventajosa se detectan errores de sensor mediante una comparación de los datos medidos por las unidades de sensor primera y segunda. A este respecto, mediante el uso según la invención de dos unidades de sensor que están asignadas a los respectivos ramales de cable se puede aprovechar la redundancia obtenida de este modo.

20 Además, de manera ventajosa, en la amortiguación de oscilaciones de carga se tiene en cuenta además la oscilación de torsión del campo de cable mediante una promediación de los ángulos de cable y/o las velocidades de ángulo de cable determinados por las unidades de sensor primera y segunda. Así se puede tener en cuenta con la amortiguación de oscilaciones de carga que también aparecen oscilaciones de torsión del campo de cable que influyen en los datos de las unidades de sensor.

De manera ventajosa, el procedimiento según la invención se realiza a este respecto con un control de grúa tal como se ha descrito anteriormente.

25 La presente invención se representa ahora en más detalle mediante ejemplos de realización y dibujos. A este respecto muestran:

La figura 0a: un ejemplo de realización de una grúa móvil para puertos,

La figura 0b: un ejemplo de realización de un elemento de seguimiento de cable de un control de grúa,

30 Las figuras 1a, 1b: la oscilación de la carga cuando el cable no se ha orientado de manera perpendicular antes de la elevación de la carga,

Las figuras 2a a 2c: un ejemplo de realización de un procedimiento en el que se compensa un desequilibrio de la carga,

Las figuras 3a a 3c: un ejemplo de realización de un procedimiento en el que se compensa la cesión de la estructura de grúa en caso de una carga,

35 La figura 4a: un ejemplo de realización de una grúa offshore con una desviación correspondiente del cable desde la perpendicular mediante un movimiento de un barco y

La figura 4b: la representación gráfica de un intervalo de ángulos de cable admisible.

La figura 5: un ejemplo de realización de la presente invención en el que están previstos dos ramales de cable con unidades de sensor respectivamente asignadas,

40 La figura 6: una oscilación de torsión del campo de cable de los ramales de cable primero y segundo,

La figura 7: un diagrama esquemático de las velocidades de cable medidas en una oscilación de torsión del campo de cable,

La figura 8: una representación esquemática de la grúa según la invención,

La figura 9: una representación esquemática del mecanismo basculante de la grúa según la invención,

- La figura 10: una representación esquemática del control de grúa según la invención,
- La figura 11: una comparación de las especificaciones del maquinista de grúa con una trayectoria deseada que se genera por el módulo de planificación de trayecto según la invención,
- 5 La figura 12a: una comparación de una trayectoria deseada con el movimiento real de la carga con respecto a la velocidad de carga,
- La figura 12b: una comparación de una trayectoria deseada con el movimiento real de la carga con respecto a la posición de carga,
- La figura 13: la velocidad del cabezal de pluma en comparación con la velocidad deseada de la carga así como el ángulo de cable radial que se produce mediante el movimiento
- 10 La figura 14: el tiempo que es necesario para calcular las trayectorias deseadas.

En la figura 0a se muestra un ejemplo de realización de una grúa de pluma según la invención, en este caso de una grúa móvil para puertos, tal como se emplean a menudo para realizar operaciones de manipulación de mercancías en puertos. Grúas de pluma de este tipo pueden tener capacidades de carga de hasta 140 t y una longitud de cable de hasta 80 m. El ejemplo de realización de la grúa según la invención comprende a este respecto una pluma 1 que se puede hacer pivotar hacia arriba y hacia abajo con respecto a un eje horizontal 2 con el que está articulada en la torre 3. La torre 3, a su vez, se puede girar alrededor de un eje vertical, por lo que también se gira conjuntamente la pluma 1. Para ello, la torre 3 está dispuesta de manera giratoria en un carro inferior 6 que se puede desplazar mediante ruedas 7. A este respecto existen mecanismos de regulación no mostrados para girar la torre 3 y el elemento de ajuste 4 para bascular la pluma 1. El cable 20 para elevar la carga 10 está guiado a este respecto mediante una polea en el cabezal de pluma, pudiendo ajustarse la longitud del cable 20 mediante cabestrantes. En el cable 20 está dispuesto en un punto de absorción de carga 25 un dispositivo de absorción de carga, por ejemplo, un manipulador o spreader mediante el que se puede recibir la carga 10. El dispositivo de absorción de carga tiene a este respecto en el ejemplo de realización adicionalmente un dispositivo de rotador mediante el que se puede girar la carga 10 en el dispositivo de absorción de carga. En una realización adicional de la invención, la grúa tiene además al menos unos ramales de cable primero y segundo para elevar la carga, discurriendo todos los ramales de cable desde la punta de pluma al dispositivo de absorción de carga.

Tal como se representa en particular en la vista desde arriba, la carga se puede mover mediante un giro de la torre 3 en la dirección tangencial y mediante una basculación de la pluma 1 en la dirección radial. A este respecto, en la dirección vertical se mueve la carga 10 mediante la basculación de la pluma 1 y el cambio de la longitud del cable 20. Además, la carga 10 se puede rotar mediante la unidad de rotador en el dispositivo de absorción de carga.

Un primer ejemplo de realización de la grúa móvil mostrada en la figura 0a está equipado ahora con el control de grúa que tiene una unidad de sensor para la determinación del ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad. La unidad de sensor tiene a este respecto en el ejemplo de realización dos sensores mediante los que se puede determinar respectivamente el ángulo de cable radial o tangencial con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad. Mediante esta unidad de sensor se simplifica considerablemente la orientación de la grúa en la elevación de la carga, ya que mediante esta unidad de sensor se puede orientar sin problemas el cable en la perpendicular por encima de la carga 10.

Sin embargo, a este respecto, el control de grúa según la invención no sólo se puede utilizar en el ejemplo de realización mostrado, esto es, en una grúa móvil para puertos, sino también de manera ventajosa en otras grúas, como, por ejemplo, en grúas de barco, grúas offshore, grúas de automóvil y grúas sobre orugas.

A este respecto, la unidad de sensor para la determinación del ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad es especialmente ventajosa en particular en grúas de pluma, ya que en éstas no se pueden emplear sistemas conocidos tal como se emplean, por ejemplo, en grúas con un carro de grúa que se puede desplazar sólo en la dirección horizontal, y que funcionan mediante sistemas de cámara de medición. En grúas de pluma, sistemas de cámara de medición de este tipo se moverían junto con la pluma y, con ello, sólo determinarían el ángulo del cable con respecto a la pluma pero no con respecto a la perpendicular. Además, sistemas de este tipo siempre deberían estar dispuestos directamente por detrás del punto fijo de cable en el cabezal de pluma, lo que sin embargo apenas es posible en caso de un cable móvil guiado mediante una polea en el cabezal de pluma.

En cambio, la unidad de sensor para la determinación del ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad se puede disponer sin problemas en un elemento de seguimiento de cable 35, tal como se representa en la figura 0b, y determina directamente el ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad en la dirección tangencial y en la dirección radial. A este respecto se puede prescindir completamente de una determinación del ángulo de cable con respecto a la pluma 1. Sin embargo, si este ángulo del cable con respecto a

la pluma 1 es relevante, también se podría disponer en la pluma 1 una unidad de sensor adicional para la determinación del ángulo de la pluma con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad para determinar el ángulo entre el cable y la pluma mediante la diferencia de los respectivos ángulos del cable y de la pluma con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad.

5 El elemento de seguimiento de cable 35 mostrado en la figura 0b en el que está dispuesta la unidad de sensor para la determinación del ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad está colocado a este respecto en el cabezal de pluma 30 de la pluma 1 mediante conexiones cardán 32 y 33 por debajo de la polea principal 31. El elemento de seguimiento de cable 35 tiene a este respecto rodillos 36 mediante las que se guía el cable 20 de modo que el elemento de seguimiento de cable 35 sigue a los movimientos del cable 20. A este
10 respecto, las conexiones cardán 32 y 33 permiten al elemento de seguimiento de cable moverse libremente alrededor de un eje horizontal y un eje vertical, aunque impiden movimientos giratorios. La orientación del elemento de seguimiento de cable 35 y, con ello, del cable 20 con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad se puede determinar de este modo mediante la unidad de sensor dispuesta en el elemento de seguimiento de cable 35 para la determinación del ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad.

15 Además, de manera ventajosa, en el ejemplo de realización está dispuesta en el elemento de seguimiento de cable 35 además una unidad de giroscopio mediante la que se puede medir la velocidad de ángulo de cable en la dirección radial y en la dirección tangencial, para lo que se utilizan al menos dos giroscopios orientados de manera correspondiente. A este respecto, los datos de los giroscopios están disponibles de manera ventajosa para una amortiguación de oscilaciones de carga que evita la oscilación de la carga en caso de un movimiento de la grúa.

20 Si están previstos varios ramales de cable mediante los que el elemento de absorción de carga está colgado en la pluma, de manera ventajosa, a al menos dos de estos ramales de cable están asignados elementos de seguimiento de cable 35 correspondientes para poder tener en cuenta también el giro de campo de cable que resulta de un giro del elemento de absorción de carga desde el nivel de campo de cable. De manera ventajosa, los elementos de seguimiento de cable están dispuestos a este respecto sobre los ramales de cable dispuestos respectivamente en el exterior, de modo que un giro de campo de cable se expresa como máximo en la diferencia de los ángulos de cable.
25 El ángulo de cable real con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad, que corresponde a una desviación de la carga desde la perpendicular, se puede determinar a este respecto mediante una promediación de los valores de las unidades de sensor en los respectivos elementos de seguimiento de cable, el giro de la carga a partir de la diferencia de los valores.

30 La articulación cardán 32 y 33 sirve a este respecto sólo para la conexión mecánica del elemento de seguimiento de cable 35 con el cabezal de pluma 30, la medición del ángulo de cable se realiza sólo mediante las unidades de sensor integradas en los elementos de seguimiento de cable 35, pero no mediante una determinación del ángulo entre el elemento de seguimiento de cable 35 y la pluma 30. De este modo sólo se podría determinar la orientación relativa del cable con respecto a la pluma 30, pero no el ángulo de cable del cable 20 con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad.
35

En un ejemplo de realización adicional, en el que el elemento de absorción de carga está colgado en la pluma mediante al menos los ramales de cable primero y segundo, están asignados a éstos también elementos de seguimiento de cable 35 correspondientes que están equipados con unidades de giroscopio y así determinan la velocidad de cable de estos ramales de cable. La determinación de las velocidades de cable de los ramales de cable primero y segundo posibilita tener en cuenta el giro de campo de cable en la amortiguación de oscilaciones de carga para la amortiguación de oscilaciones pendulares esféricas de la carga y corregir errores de medición. En este ejemplo de realización se puede prescindir también de las unidades de sensor para la determinación del ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad y se pueden equipar los elementos de seguimiento de cable 35 sólo con unidades de giroscopio.
40

45 De manera alternativa a la disposición de la unidad de sensor para la determinación del ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad en un elemento de seguimiento de cable 35, ésta también se podría disponer, por ejemplo, en el medio de absorción de cable, sin embargo, en particular en el caso de varios ramales de cable, los elementos de seguimiento de cable ofrecen una posibilidad mejorada para la determinación del giro de la carga.

50 Dado que las amortiguaciones de oscilaciones de carga, que se muestran en los documentos DE 100 64 182, DE 103 24 692, DE 100 29 579 y DE 10 2006 033 277 y con las que está equipado también de manera ventajosa el control de grúa del ejemplo de realización según la invención, parten de una carga que cuelga libremente en el cable y se basan en datos de giroscopio que no son adecuados para la determinación de ángulos de cable absolutos, estos sistemas de oscilación de carga sólo pueden evitar una oscilación de la carga que en primer lugar cuelga libremente y sin moverse en el cable en caso de un movimiento de la grúa.
55

Para orientar ahora el cable de manera perpendicular antes de la elevación de la carga o en la elevación de modo que se puede elevar la carga sin una oscilación está previsto ahora el control de grúa según la invención con la

unidad de sensor según la invención para la determinación de un ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad.

La figura 1 a muestra a este respecto el problema básico en caso de una orientación no perpendicular del cable 20. El cable 20, que ya está conectado mediante un elemento de absorción de carga con la carga 10 que aún se apoya tiene a este respecto un ángulo ϕ_{sr} con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad representada mediante líneas discontinuas mediante la orientación incorrecta de la pluma 1. Si la carga 10 se eleva ahora de esta posición acortando la longitud del cable 20, entonces resulta la oscilación mostrada en la figura 1b con respecto a la perpendicular cuando se libera la carga 10. A este respecto, una oscilación de este tipo en la elevación de la carga 10 es especialmente peligrosa, ya que se realiza en proximidad del suelo y se pueden dañar fácilmente objetos en el entorno de la carga 10.

Además, antes de su liberación es posible que la carga 10 se deslice de manera no controlada o que se gire de manera no controlada debido a una liberación no uniforme. En las figuras 1 a y 1 b se representa a este respecto de manera ejemplar la desviación ϕ_{sr} en la dirección radial. La misma problemática resulta también en caso de una desviación del cable 20 en la dirección tangencial que es provocada por una posición errónea de la torre 3.

Para evitar una desviación de este tipo del cable 20 desde la perpendicular al inicio de la elevación, el control de grúa tiene por tanto una indicación que indica el ángulo de cable ϕ del cable 20 con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad, es decir, con respecto a la perpendicular. A este respecto, por ejemplo, por un lado, la indicación puede indicar de manera óptica y/o acústica una posición de cable perpendicular y, además, indicar la dirección en la que el cable 20 está desviado desde la perpendicular.

Una indicación de este tipo puede tener por tanto, por ejemplo, elementos de indicación para una desviación hacia delante o hacia atrás y elementos de indicación para una desviación hacia la izquierda o hacia la derecha que indican una desviación en la dirección radial o en la dirección tangencial.

De manera alternativa se puede indicar también la desviación horizontal de la carga desde una posición cero que corresponde a una orientación perpendicular del cable. En particular es concebible a este respecto una indicación gráfica de la posición cero y de la desviación de la carga, de modo que se indica directamente al maquinista de grúa la desviación absoluta de la carga.

Mediante una indicación de este tipo, el maquinista de grúa puede orientar la grúa al inicio de la elevación sin problemas de modo que el cable 20 queda dispuesto de manera perpendicular por encima de la carga 10. La posición de cable perpendicular correcta se puede indicar entonces, por ejemplo, de manera acústica mediante un tono de señal.

En una forma de realización alternativa está prevista a este respecto, dado el caso además de la indicación, una función para la orientación automática del cable en la dirección perpendicular. Al activar esta función, la grúa se orienta automáticamente tras la fijación del medio de absorción de carga en la carga de modo que el cable se encuentra en la perpendicular. Para evitar un movimiento no controlado de la grúa en caso de una función errónea de la unidad de sensor, esta función automática está conectada de manera ventajosa, por ejemplo, con un dispositivo de medición de fuerza de cable que apaga la operación automática en caso de errores.

Al utilizar varios ramales de cable entre el cabezal de pluma y el medio de absorción de carga se puede determinar además el giro de campo de cable mediante varias unidades de sensor. Este giro de campo de cable corresponde al giro del medio de absorción de carga, por ejemplo, de un spreader, y llevaría a una rotación de la carga en la elevación de la carga. Para evitar esto se indica de manera ventajosa, dado el caso además del ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad o con respecto a la desviación horizontal de la carga, también el giro del campo de cable. Si el medio de absorción de carga tiene un dispositivo de rotor, el giro de campo de cable se puede ajustar de este modo en 0 antes de la elevación para evitar una rotación de la carga 10 en la elevación. También para ello puede estar prevista de manera ventajosa en un ejemplo de realización adicional una función para la orientación automática del dispositivo de rotor.

Además, un ejemplo de realización del control de grúa tiene además de la indicación un dispositivo de aviso que avisa al maquinista de grúa mediante una señal óptica y/o acústica en caso de superar el intervalo de valores admisible en caso de una desviación que resulta del ángulo de cable medido, en particular para el ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad, para la desviación horizontal de la carga y/o para el giro de campo de cable. De este modo, el maquinista de grúa tiene la posibilidad de evitar una desviación demasiado intensa del cable y así proteger la grúa, por ejemplo, frente a una sobrecarga. Asimismo, así se puede evitar una oscilación demasiado intensa de la carga en la elevación.

En un ejemplo de realización alternativo puede estar previsto, dado el caso además del dispositivo de aviso, un dispositivo de aseguramiento automático, por ejemplo, en forma de un mecanismo de protección frente a

5 sobrecargas, que interviene automáticamente en el control de la grúa en caso de superar el intervalo de valores admisible. En particular, el mecanismo de protección frente a sobrecargas automático detiene a este respecto el movimiento de la grúa para evitar una sobrecarga. El mecanismo de protección frente a sobrecargas puede estar integrado a este respecto en el mecanismo de limitación de par de carga de la grúa que protege así la grúa frente a una carga por un ángulo de cable demasiado grande.

Además, en un ejemplo de realización adicional está previsto que la elevación de la carga 10 no sea posible siempre que el ángulo de cable o el giro de campo de cable no se encuentre en el intervalo admisible. De este modo se evita de manera eficaz una oscilación accidental de la carga 10 en la elevación.

10 En las figuras 2 y 3 se representan ahora dos situaciones en las que el cable 20 está orientado en primer lugar de manera perpendicular, aunque se mueve de modo que se aleja de la perpendicular en la elevación de la carga 10.

15 En las figuras 2a a 2c esto se produce por que el centro de gravedad 26 de la carga 10 no se encuentra por debajo del punto de absorción de carga 25 al inicio de la operación de elevación. Si la carga 10 se eleva ahora, tal como se representa en la figura 2b, ésta se coloca de manera oblicua hasta que el centro de gravedad 26 de la carga esté dispuesto por debajo del punto de absorción de carga 25. Sin embargo, mediante este ladeo de la carga 10, el punto de absorción de carga 25 en el que está fijado el cable 20, por ejemplo, en el medio de absorción de carga, se mueve en la dirección horizontal, en el caso mostrado aquí en la dirección radial hacia dentro. De este modo cambia el ángulo de cable con respecto a la perpendicular, lo que llevaría a una oscilación no deseada de la carga en caso de una liberación completa de la carga 10.

20 Por tanto, en un ejemplo de realización del procedimiento se determina durante la elevación de la carga 10 la desviación del ángulo de cable con respecto a la perpendicular. En el ejemplo de realización más sencillo, el maquinista de grúa comprueba a este respecto en la indicación el ángulo de cable o la desviación horizontal y reajusta la grúa durante la elevación para volver a compensar la desviación del ángulo de cable con respecto a la perpendicular debido al desequilibrio de la carga. En un ejemplo de realización mejorado se determina y se indica el desequilibrio de la carga a partir de la desviación del ángulo de cable con respecto a la perpendicular, de modo que
25 el maquinista de grúa puede reaccionar mejor.

En la posición mostrada en la figura 2c se ha movido la grúa ahora de modo que se ha compensado la posición oblicua debido al desequilibrio de la carga en la que el centro de gravedad 26 está dispuesto por debajo del punto de absorción de carga 25. En caso de una liberación completa de la carga 10 se evita de este modo una oscilación no deseada de la carga debido al desequilibrio de la carga.

30 En un ejemplo de realización no representado, el medio de absorción de carga tiene un dispositivo en particular para el movimiento lineal de la carga 10 con respecto al punto de absorción de carga 25 mediante el que se puede disponer el centro de gravedad 26 de la carga sin una basculación de la carga 10 por debajo del punto de absorción de carga 25. Para ello, el medio de absorción de carga, por ejemplo, tiene un spreader, por ejemplo, un desplazamiento longitudinal del punto de absorción de carga 25 con respecto a la carga, por ejemplo, un contendor.

35 Si se detecta ahora en la elevación de la carga una desviación del ángulo de cable con respecto a la perpendicular, el maquinista de grúa puede desplazar el punto de absorción de carga con respecto a la carga hasta que el cable vuelva a estar orientado de manera perpendicular. También se puede determinar e indicar el desequilibrio de la carga mediante la desviación del ángulo de cable con respecto a la perpendicular, de modo que el maquinista de grúa puede realizar la activación del desplazamiento longitudinal del spreader mediante esta indicación. También es concebible un desplazamiento automático del spreader.
40

Un desplazamiento de este tipo del spreader mediante la desviación del ángulo de cable con respecto a la perpendicular es especialmente ventajoso, ya que una basculación de los contendores puede llevar, en particular en el transporte a un barco, a un enganchado de los contendores debido al que se puede dificultar considerablemente el transporte.

45 En las figuras 3a a 3c se puede ver ahora un efecto adicional mediante el que se puede provocar una desviación del ángulo de cable con respecto a la perpendicular en la elevación de la carga. En la figura 3a, el cable 20 aún está orientado de manera perpendicular antes del inicio de la elevación. Dado que el centro de gravedad 26 de la carga se encuentra por debajo del punto de absorción de carga 25, esto es, la carga no tiene un desequilibrio, el punto de absorción de carga 25 no se desplaza en este caso en la elevación de la carga 10. Sin embargo, tal como se muestra en la figura 3b, la estructura de grúa cede debido a la carga en la elevación de la carga, flexionándose en este caso la torre 3 y la pluma 1 ligeramente hacia delante. De este modo, la punta de pluma 30, a través de la que discurre el cable 20, se mueve con respecto al punto de absorción de carga 25, de modo que resulta una desviación del ángulo de cable con respecto a la perpendicular debido a la cesión de la estructura de grúa.
50

Según la invención, esta desviación se compensa en un primer ejemplo de realización del procedimiento por el maquinista de grúa mediante la indicación del ángulo de cable en la elevación de la carga. También se puede determinar la desviación del ángulo de cable con respecto a la perpendicular debido a la cesión de la estructura de grúa bajo la carga que entonces se puede indicar para facilitar el trabajo del maquinista de grúa. En un ejemplo de realización adicional es posible también un seguimiento automático de la grúa para la orientación perpendicular basándose en los datos de la unidad de sensor para la determinación de un ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad. Si el ángulo de cable vuelve a estar orientado en la perpendicular, la carga se puede elevar sin oscilaciones, tal como se muestra en la figura 3c.

En la figura 4a se puede ver un ejemplo de realización adicional de la grúa. En este caso se trata de una grúa offshore que está dispuesta sobre una plataforma offshore 50 y, por ejemplo, sirve para transportar una carga 10 de un barco 60 a la plataforma 50. Dado que el barco 60 se puede mover con respecto a la plataforma 50, también se puede modificar el ángulo de cable del cable 20 con respecto a la perpendicular sin un movimiento de la grúa mediante un movimiento del barco.

Para tener en cuenta esta situación está prevista en un ejemplo de realización del control de grúa una función de sobrecarga que, dado el caso, se puede utilizar además de las funciones de aviso y seguridad anteriormente descritas. Por ejemplo, para evitar una destrucción de la grúa cuando el cable 20 se queda enganchado en el barco 60 y el movimiento del barco 60 amenaza con sobrecargar la grúa se toman contramedidas cuando el ángulo de cable supera un intervalo máximo admisible. En particular se puede liberar a este respecto en parte el movimiento de la grúa, por ejemplo, mediante la liberación del cable 20 o el movimiento giratorio de la torre 3. Esta liberación se realiza a este respecto de manera controlada con cierta fuerza contraria para evitar impulsos repentinos.

De este modo se puede realizar, basándose en el ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad, un mecanismo de protección frente a sobrecargas sencillo de llevar a cabo que sólo mediante un sensor de fuerza de cable se puede realizar sólo con dificultades. Mediante un mecanismo de protección frente a sobrecargas de este tipo que provoca una liberación parcial del movimiento de grúa se puede evitar además un rozamiento no controlado de la carga 10 a través del barco 60.

El intervalo admisible 70 para el ángulo de cable en la dirección X e Y se muestra de manera sombreada, por ejemplo, en la figura 4b. Si el ángulo de cable supera este intervalo admisible 70 se desencadena la función de aviso o una de las funciones de sobrecarga.

La figura 4b muestra a este respecto un elemento de indicación para la indicación de una desviación con respecto a una posición perpendicular del cable, con un intervalo admisible 70 para el ángulo de cable o para la desviación horizontal en la dirección X e Y, es decir, en la dirección radial y tangencial. La indicación del ángulo de cable se realiza de este modo de manera gráfica, por ejemplo, al representarse el ángulo de cable en el diagrama mostrado en la figura 4b como punto. En lugar del ángulo de cable se puede representar también la desviación horizontal de la carga desde la posición cero situada en el centro, es decir, la distancia de la carga con respecto a la posición en la que se encontraría en caso de una posición de grúa idéntica pero con un cable perpendicular. El maquinista de grúa puede detectar así directamente la desviación absoluta de la carga y puede estimar así más fácilmente el trayecto por el que se tiene que desplazar la grúa para la orientación correcta del cable.

Mediante la determinación según la invención del ángulo de cable con respecto a la perpendicular mediante una unidad de sensor para la determinación de un ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad y los controles de grúa y procedimientos de control de grúa según la invención correspondientes es posible, además de un manejo y una orientación más sencillos de la grúa, también una seguridad considerablemente aumentada en la elevación de cargas.

En un ejemplo de realización de la presente invención, la grúa tiene al menos unos ramales de cable primero y segundo que unen el medio de absorción de carga con la punta de pluma. En particular existe a este respecto una amortiguación mejorada de las oscilaciones esféricas de la carga debido al control de grúa según la invención.

Conceptos de regulación y automatización para grúas que evitan el movimiento pendular de la carga en el cable en caso de un movimiento de grúa requieren la medición precisa de los ángulos de cable. En particular en grúas de pluma es ventajoso a este respecto no determinar directamente los ángulos de cable, por ejemplo, mediante métodos de procesamiento de imágenes, sino medir las velocidades angulares mediante giroscopios.

Sin embargo, dado que las señales de giroscopio incluyen un desplazamiento y también detectan influencias perturbadoras tales como oscilaciones armónicas de cable, se emplean circuitos observadores para la integración de las velocidades con respecto a los ángulos de cable.

Para detectar las velocidades angulares de la carga oscilatoria se fijan los giroscopios mediante una construcción mecánica en el cable por debajo de la punta de pluma. Para la detección de la oscilación de carga esférica son

necesarios dos giroscopios que están dispuestos en la dirección tangencial y radial.

5 Tal como se representa en la figura 5 se propone ahora según la invención para una amortiguación de oscilaciones de carga mejorada asignar tanto al primer ramal de cable como al segundo ramal de cable un elemento de seguimiento de cable tal como se muestra en la figura 0b. Sin embargo, en lugar de la unidad de sensor para la determinación de un ángulo de cable con respecto a la dirección de la fuerza de gravedad, los elementos de seguimiento de cable están equipados con unidades de giroscopio que son más adecuadas para la amortiguación de oscilaciones de carga. Mediante éstas se realiza una detección de velocidad angular de la carga de grúa oscilatoria.

10 La figura 0b muestra a este respecto un primer elemento de seguimiento de cable 35 en el que está dispuesta la primera unidad de sensor asignada al primer ramal de cable en el ejemplo de realización mostrado en este caso. El primer elemento de seguimiento de cable está colocado a este respecto en el cabezal de pluma 30 de la pluma 1 mediante conexiones cardán 32 y 33 por debajo de una primera polea 31 mediante la que está guiado el primer ramal de cable 20. El elemento de seguimiento de cable 35 tiene a este respecto rodillos 36 mediante los que está guiado el primer ramal de cable 20 de modo que el elemento de seguimiento de cable 35 sigue a los movimientos del ramal de cable 20. Las conexiones cardán 32 y 33 permiten al elemento de seguimiento de cable a este respecto moverse libremente alrededor de un eje horizontal y vertical, aunque suprimen movimientos giratorios. Las velocidades angulares radial y angular del primer elemento de seguimiento de cable 35 y, con ello, del primer ramal de cable 20 se pueden determinar por tanto mediante la primera unidad de sensor dispuesta en el elemento de seguimiento de cable 35 que está realizada como unidad de giroscopio. Un segundo elemento de seguimiento de cable con una segunda unidad de sensor, que está asignado a un segundo ramal de cable, está construido de manera análoga al primer elemento de seguimiento de cable y está unido con la punta de pluma. El segundo elemento de seguimiento de cable mide por consiguiente la velocidad angular del segundo ramal de cable.

15 Las señales de giroscopio (velocidades angulares en la dirección tangencial y radial) de ambos elementos de seguimiento de cable se preparan y se procesan con algoritmos idénticos. En primer lugar se compensan mediante software influencias perturbadoras provocadas por un montaje erróneo (véase la ecuación 0.1). Si los niveles de sensibilidad de los sensores de giroscopio no se encuentran exactamente en la dirección tangencial y en la dirección radial sino están basculados debido a un montaje erróneo, los sensores miden de manera proporcional la velocidad de giro de la grúa.

$$\dot{\varphi}_{tr\,comp} = \dot{\varphi}_{tr\,medición} - \sin(\varphi_{instalación}) \dot{\varphi}_D \quad (0.1)$$

30 El ángulo de instalación o montaje para cada sensor de giroscopio en ambos elementos de seguimiento de cable es respectivamente $\varphi_{instalación}$, $\dot{\varphi}_D$ es la velocidad de giro de la grúa, $\dot{\varphi}_{tr\,medición}$ es la velocidad angular tangencial o radial y $\dot{\varphi}_{tr\,comp}$ es la señal de giroscopio compensada resultante.

35 Además, las señales de medición compensadas se integran con un circuito observador sin desplazamiento con respecto a los ángulos de cable. Tras esta preparación están disponibles ahora los ángulos de cable para ambos elementos de seguimiento de cable en la dirección tangencial y en la dirección radial.

La ampliación del concepto de medición por el segundo elemento de seguimiento de cable lleva a dos ventajas fundamentales con respecto a la variante con sólo un elemento de seguimiento de cable o con respecto a la variante con los sensores de giroscopio en el gancho.

40 La primera ventaja es la redundancia de la medición de la oscilación de carga. Si falla un sensor en uno de los dos elementos de seguimiento de cable, la velocidad angular aún se detecta por el sensor del otro soporte. De este modo se puede asegurar la función básica del control de grúa (la amortiguación pendular y la secuencia de trayectorias). Mediante una formación de diferencia de las señales angulares de ambos elementos de seguimiento de cable en las respectivas direcciones se puede detectar además un error de sensor en caso de una superación de un valor umbral. De este modo, la grúa se puede llevar inmediatamente a un estado seguro en caso de que aparezca un error de sensor.

45 La segunda ventaja es la posibilidad de la compensación de la oscilación de torsión de la carga. A este respecto se calcula el valor medio de las señales angulares de los dos elementos de seguimiento de cable en la dirección correspondiente, tal como muestra la ecuación 0.2.

$$\varphi_t = \frac{\varphi_{\text{obserH1}} + \varphi_{\text{obserH2}}}{2}$$

$$\varphi_r = \frac{\varphi_{\text{roberH1}} + \varphi_{\text{roberH2}}}{2}$$

(0.2)

El ángulo de cable en la dirección tangencial ϕ_t se calcula por tanto a partir del valor medio de las señales angulares observadas del soporte 41 ϕ_{observH1} y del soporte 42 ϕ_{observH2} . Lo mismo es válido para el ángulo de cable en la dirección radial que está simbolizado mediante el índice r . Si se produce una torsión de la carga con la velocidad angular $\phi_{\text{torsión}}$, los giroscopios miden exactamente una oscilación parásita contraria tanto en la dirección tangencial como en la dirección radial en los elementos de seguimiento de cable 41 y 42. De este modo se puede eliminar la influencia de la oscilación de torsión mediante la promediación. La regulación según la invención de la amortiguación de oscilaciones de carga en la que entran los datos generados por las dos unidades de giroscopio se representa ahora en más detalle a continuación.

En el caso observado, la dinámica del movimiento de pluma está caracterizada por algunos efectos no lineales existentes. El uso de un aparato de control lineal provocaría por tanto grandes errores en el seguimiento de trayectorias y una amortiguación insuficiente de la oscilación de carga. Para superar estos problemas, la presente invención usa un procedimiento de control no lineal que se basa en la inversión de un modelo no lineal simplificado. Este procedimiento de control para el movimiento basculante de una grúa de pluma permite un movimiento de carga sin pivotamiento en la dirección radial. Al utilizar un bucle de regulación estabilizador adicional, el control de grúa según la invención resultante muestra una alta precisión del seguimiento de trayectorias y una buena amortiguación de la oscilación de carga. Se proporcionan resultados de medición para validar el buen rendimiento del aparato de control de seguimiento de trayectorias no lineal.

Grúas de pluma tal como la grúa móvil para puertos de LIEBHERR LHM (véase la figura 1) se utilizan para la manipulación eficaz de procesos de transporte en puertos. Este tipo de grúas de pluma está caracterizado por una capacidad de carga de hasta 140 toneladas, un alcance máximo de 48 metros y una longitud de cable de hasta 80 metros. Durante el proceso de transporte se excita una oscilación de carga esférica. Esta oscilación de carga se debe evitar por motivos de seguridad y rendimiento.

Tal como se muestra en la figura 1, una grúa móvil para puertos de este tipo está compuesta por una plataforma móvil 6 en la que está colocada una torre 3. La torre 3 se puede girar alrededor de un eje vertical, definiéndose su posición mediante el ángulo ϕ_D . En la torre 3 está colocada de manera pivotante una pluma 1 que se puede bascular mediante el actuador 4, definiéndose su posición mediante el ángulo ϕ_A . La carga 10 está descolgada de la cabeza de la pluma 1 en un cable con la longitud l_s y puede bascular con el ángulo ϕ_S .

En general, grúas son sistemas subactuados que muestran un comportamiento oscilante. Por tanto se han propuesto en la literatura muchas soluciones de control no reguladas y reguladas. Sin embargo, estos enfoques se basan en el modelo dinámico linealizado de la grúa. La mayoría de estas contribuciones no tienen en cuenta la dinámica y cinemática de actuador. En una grúa de pluma que se acciona mediante actuadores hidráulicos no son insignificantes la dinámica y la cinemática de los actuadores hidráulicos. En particular en el actuador de pluma (cilindro hidráulico) se tiene que tener en cuenta la cinemática.

La siguiente realización de la presente invención aprovecha un enfoque de control basado en planicidad para la dirección radial de una grúa de pluma. El enfoque se basa en un modelo no lineal simplificado de la grúa. Por tanto se puede formular la ley del control linealizado. Además, se muestra que la dinámica cero del bucle de control no lineal no simplificado garantiza una propiedad de amortiguación suficiente.

1. MODELO NO LINEAL DE LA GRÚA

Teniendo en cuenta los objetivos de control de evitar la oscilación de carga y del seguimiento de una trayectoria de referencia en la dirección radial se tiene que derivar el modelo dinámico no lineal para el movimiento basculante. La primera parte del modelo se obtiene

- al no tener en cuenta la masa y la elasticidad del cable
- al suponer que la carga es una masa puntual
- al no tener en cuenta los términos centrípetos y de Coriolis

El hecho de utilizar el procedimiento de Newton/Euler y tener en cuenta las suposiciones establecidas lleva a la siguiente ecuación diferencial del movimiento para la oscilación de carga en la dirección radial:

$$\ddot{\varphi}_{Sr} + \frac{g}{l_s} \text{sen}(\varphi_{Sr}) = \frac{\cos(\varphi_{Sr})}{l_s} \ddot{r}_A \quad (1)$$

La figura 8 muestra una representación esquemática del movimiento basculante, siendo φ_{Sr} el ángulo de cable radial, $\ddot{\varphi}_{Sr}$ la aceleración angular radial, l_s la longitud de cable, \ddot{r}_A la aceleración del extremo de pluma y g la constante de gravedad.

- 5 La segunda parte del modelo dinámico define la cinemática y la dinámica del actuador para la dirección radial. Suponiendo que el cilindro hidráulico tiene un comportamiento de primer orden, la ecuación diferencial del movimiento se obtiene de la siguiente manera:

$$\ddot{z}_{zyl} = -\frac{1}{T_W} \dot{z}_{zyl} + \frac{K_{VW}}{T_W A_{zyl}} u_l \quad (2)$$

- 10 Siendo \ddot{z}_{zyl} y \dot{z}_{zyl} la aceleración de cilindro y la velocidad, T_W la constante de tiempo, A_{zyl} la superficie de sección transversal del cilindro, u_W la tensión de entrada de la servoválvula y K_{VW} la constante proporcional de la tasa de flujo con respecto a u_W .

La figura 9 muestra una representación esquemática de la cinemática del actuador con las constantes geométricas $d_a, d_b, \alpha_1, \alpha_2$. Para obtener una conversión de coordenadas de cilindro (z_{zyl}) en coordenadas de alcance (r_A), se diferencia la ecuación cinemática

$$r_A(z_{zyl}) = l_A \cos\left(\alpha_{A0} - \arccos\left(\frac{d_a^2 + d_b^2 - z_{zyl}^2}{2d_a d_b}\right)\right) \quad (3)$$

15

$$\begin{aligned} \dot{r}_A &= -l_A \text{sen}(\varphi_A) K_{Wz1}(\varphi_A) \dot{z}_{zyl} \\ \ddot{r}_A &= -l_A \text{sen}(\varphi_A) K_{Wz1}(\varphi_A) \ddot{z}_{zyl} - K_{Wz3}(\varphi_A) \dot{z}_{zyl}^2 \end{aligned} \quad (4)$$

K_{Wz1} y K_{Wz3} definen la dependencia de las constantes geométricas $d_a, d_b, \alpha_1, \alpha_2$ y del ángulo basculante φ_A . (véase la figura 9). l_A es la longitud de la pluma.

- 20 La formulación del comportamiento de primer orden del actuador en coordenadas de desviación utilizando las ecuaciones (4) lleva a una ecuación diferencial no lineal.

$$\ddot{r}_A = -\underbrace{\frac{K_{Wz3}}{l_A^2 \text{sen}^2(\varphi_A) K_{Wz1}^2}}_a \dot{r}_A^2 - \underbrace{\frac{1}{T_W}}_b \dot{r}_A - \underbrace{\frac{K_{VW} l_A \text{sen}(\varphi_A) K_{Wz1}}{T_W A_{zyl}}}_m u_l \quad (5)$$

Para representar el modelo no lineal en la forma

$$\begin{aligned} \dot{x}_l &= f_l(x_l) + g_l(x_l) \cdot u_l \\ y_l &= h_l(x_l) \end{aligned} \quad (6)$$

se utilizan las ecuaciones (1) y (6). De este modo, el estado $\underline{x} = [r_A \dot{r}_A \phi_{Sr} \dot{\phi}_{Sr}]^T$ utilizado como entrada y la posición radial de la carga $y = r_{LA}$ prevista como salida llevan a:

$$\underline{f}_l(\underline{x}_l) = \begin{bmatrix} \dot{x}_{l,2} \\ -ax_{l,2}^2 - bx_{l,2} \\ \dot{x}_{l,4} \\ -\frac{g}{l_s} \sin(x_{l,3}) + \frac{\cos(x_{l,3})}{l_s} (ax_{l,2}^2 + bx_{l,2}) \end{bmatrix}; \underline{g}_l(\underline{x}_l) = \begin{bmatrix} 0 \\ -m \\ 0 \\ \frac{\cos(x_{l,3})m}{l_s} \end{bmatrix} \quad (7, 8)$$

$$h_l(\underline{x}_l) = x_{l,1} + l_s \sin(x_{l,3})$$

2. ENFOQUE DE CONTROL NO LINEAL

- 5 Los siguientes planteamientos se realizan suponiendo que se puede linearizar el lado derecho de la ecuación diferencial para la oscilación de carga. Por tanto, la excitación de la oscilación de carga radial se desacopla del ángulo de cable radial ϕ_{Sr} .

$$\ddot{\phi}_{Sr} + \frac{g}{l_s} \sin(\phi_{Sr}) = \frac{1}{l_s} \ddot{r}_A \quad (9)$$

Para encontrar una salida plana para el sistema no lineal simplificado se tiene que determinar el grado relativo.

10 2.1 Grado relativo

El grado relativo se define mediante las siguientes condiciones:

$$\begin{aligned} L_{\underline{g}_l} L_{\underline{f}_l}^i h_l(\underline{x}_l) &= 0 \quad \forall i = 0, \dots, r-2 \\ L_{\underline{g}_l} L_{\underline{f}_l}^{r-1} h_l(\underline{x}_l) &\neq 0 \quad \forall x \in R^n \end{aligned} \quad (10)$$

El operador $L_{\underline{f}_l}$ representa la derivación de Lie a lo largo del campo vectorial \underline{f}_l o $L_{\underline{g}_l}$ a lo largo del campo vectorial \underline{g}_l . Con la salida real

$$y_l^* = h_l^*(\underline{x}_l) = x_{l,1} + l_s x_{l,3} \quad (11)$$

- 15 se obtiene un grado relativo de $r = 2$. Dado que el orden del modelo no lineal simplificado es 4, y_l es una salida no plana. Sin embargo, con una nueva salida

$$y^* = h^*(\underline{x}) = x_1 + l_s x_3 \quad (12)$$

- 20 se obtiene un grado relativo de $r = 4$. Suponiendo que sólo se producen ángulos de cable radiales pequeños no es necesario tener en cuenta la diferencia entre la salida real y_l y la salida plana y_l^* . Esta simplificación se elige para mantener lo menor posible el tiempo de cálculo para la generación de trayectorias descrita en el capítulo 3.

2.2 Linearización exacta

Dado que la representación simplificada del sistema es diferencialmente plana se puede realizar una linearización exacta. Por tanto se define una entrada nueva como $v = \overrightarrow{y}_l$ y se calcula la señal de control linearizadora u_l mediante

$$u_l = \frac{-L'_{L'} h'_l(\underline{x}_l) + v_l}{L_{L'} L'^{-1}_{L'} h'_l(\underline{x}_l)}; \quad v_l \dots \text{nueva entrada} \tag{13}$$

$$= \frac{g \operatorname{sen}(x_{l,3}) x_{l,4}^2 - g \cos(x_{l,3}) \left(-\frac{g}{l_s} \operatorname{sen}(x_{l,3}) + \frac{a}{l_s} x_{l,2}^2 + \frac{b}{l_s} x_{l,2} \right) + v_l}{\frac{gm}{l_s} \cos(x_{l,3})}$$

5 Para estabilizar el sistema linearizado resultante se deriva una propagación hacia atrás de errores entre la trayectoria de referencia y las derivaciones de la salida y^* .

$$u_l = \frac{-L'_{L'} h'_l(\underline{x}_l) + v_l - \sum_{i=0}^{r-1} k_{l,i} \left[L^i_{L'} h'_l(\underline{x}_l) - y_{l,ref}^{(i)} \right]}{L_{L'} L'^{-1}_{L'} h'_l(\underline{x}_l)} \tag{14}$$

10 Las amplificaciones de propagación hacia atrás $k_{l,i}$ se obtienen mediante la técnica de colocación de polo. La figura 10 muestra la estructura resultante del sistema linearizado y estabilizado.

El aparato de control de seguimiento se basa en la oscilación de carga simplificada ODE (8) y no en la oscilación de carga ODE (1). Además, para el diseño de aparato de control se utiliza la salida ficticia y_l^* . La dinámica interna resultante se muestra a este respecto en el documento DE 10 2006 048 988 que aún no se ha publicado cuyo contenido forma parte de la presente solicitud.

15 3. Planificación de trayecto/ generación de trayectorias

A. Formulación del problema de control óptimo

20 El problema de la generación de trayectorias se formula como problema de control óptimo limitado de la cadena abierta para el sistema linearizado con propagación hacia atrás de estado. Debido al tiempo de cálculo relevante para la solución del problema de control óptimo se realiza la generación de trayectorias predictiva de modelos con un tiempo de palpado significativo. También se introduce mediante el propio procedimiento de solución numérico una discretización del eje de tiempo. Sin embargo, por motivos de sencillez se representa el problema de control óptimo continuamente en tiempo continuo.

Las ecuaciones de modelo se dan mediante:

$$\begin{aligned} \dot{x}_{lin} &= A_{lin} x_{lin} + b_{lin} u_{lin}, & x_{lin}(t_0) &= x_{lin,0} \\ y_{lin} &= C_{lin} x_{lin} \end{aligned} \tag{15}$$

25 Las variables de estado x_{lin} son los estados de la cadena de integrador que resulta del sistema linearizado compuesto por el regulador basado en planicidad (ecuación (14)) y el sistema no lineal (ecuación (6)), y los estados de la cadena de integrador para la trayectoria de referencia. Se introducen estados adicionales para obtener una entrada lisa v . El estado inicial $x_{lin,0}$ se deriva de los estados de estos integradores, de la salida de sistema actual y de sus derivaciones. Las salidas y_{lin} del sistema lineal (ecuación (15)) son variables que corresponden a la salida
30 plana y^* (ecuación (12)) y de sus derivaciones primera y segunda. Estas variables son la posición, la velocidad y la aceleración de la carga en la dirección radial.

El funcional de rendimiento

$$J_c = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} \left((y_{lin} - w)^T Q (y_{lin} - w) + r \dot{u}_{lin}^2 \right) dt \quad (16)$$

5 tiene en cuenta, por un lado, la desviación cuadrática de las salidas pronosticadas y_{lin} con respecto a su pronóstico de referencia $w(t)$ y, por otro lado, el cambio cuadrático de la magnitud de entrada u_{lin} . El horizonte de optimización $t_f - t_0$, la matriz de ponderación simétrica semi-definida positiva Q y el coeficiente de ponderación $r > 0$ son parámetros de ajuste fundamentales para la generación de trayectorias predictiva de modelos.

El horizonte de optimización $t_f - t_0$ debería detectar el comportamiento dinámico fundamental del proceso/sistema. Éste viene definido por la duración de período de la oscilación de carga (hasta 18 segundos para la grúa considerada). Ensayos muestran que son suficientes 10 segundos para el horizonte de optimización.

10 El pronóstico de referencia $w(t)$ para la posición, la velocidad y la aceleración de la carga se genera a partir de las señales de palanca manual del maquinista de grúa (velocidades deseadas). La predicción tiene en cuenta reducciones de velocidad cuando la carga se aproxima a los límites del rango de trabajo.

La generación de trayectorias predictiva de modelos tiene en cuenta restricciones para las variables de proceso como limitaciones del problema de control óptimo.

$$u_{lin,min} \leq u_{lin} \leq u_{lin,max} \quad (17)$$

$$y_{lin,min} \leq y_{lin} \leq y_{lin,max}$$

15

Limitaciones del cambio de la entrada se utilizan para evitar excitaciones de alta frecuencia del sistema.

$$\dot{u}_{lin,min} \leq \dot{u}_{lin} \leq \dot{u}_{lin,max} \quad (18)$$

De este modo se tienen que tener en cuenta las tasas de cambio \dot{u}_{lin} como magnitudes de ajuste en la formulación del problema de control óptimo.

20 La generación de las trayectorias de referencia lleva a un circuito de regulación exterior (figura (10)). Por tanto se pueden aplicar los resultados de las consideraciones de estabilidad de regulaciones predictivas de modelos. Condiciones para la estabilidad garantizada del circuito de regulación cerrado en condiciones normales requieren normalmente limitaciones estabilizadoras de los estados al final del horizonte de optimización junto con una evaluación adecuada del estado final. Para una "zero-state terminal constraint" (limitación terminal de estado cero) se deberían introducir valores finales fijos que dependen de los estados estacionarios en relación con las entradas de referencia para los estados que no se van a integrar.

25

$$x_{lin}(t_f) = x_{lin,f}(w(t_f)) \quad (19)$$

30 Limitaciones de este tipo (ecuación (19)) provocan probablemente problemas de control óptimo que no se pueden resolver en condiciones no nominales tales como inseguridades de modelo o ruido de medición, especialmente para horizontes de optimización cortos. Por tanto se aproxima la limitación de ecuación (19) como término de penalización cuadrático con una matriz de ponderación simétrica definida positiva \bar{Q} , lo que amplía el funcional de rendimiento original de la siguiente manera:

$$J = J_c + \frac{1}{2} (x_{lin}(t_f) - x_{lin,f})^T \bar{Q} (x_{lin}(t_f) - x_{lin,f}) \quad (20)$$

B. Solución numérica del problema de control óptimo

El problema de control óptimo lineal cuadrático limitado continuo en el tiempo (15)-(20) se discretiza.

$$\begin{aligned}
 t_0 = t^0 \leq t^1 \leq \dots \leq t^K = t_f \\
 x_{lin}^{k+1} = A^k x_{lin}^k + b^k u_{lin}^k, \quad k = 0, \dots, K-1 \\
 x_{lin}^0 = x_{lin,0} \\
 y_{lin}^k = C_{lin}^k x_{lin}^k, \quad k = 0, \dots, K
 \end{aligned}
 \tag{21}$$

designando x_{lin}^k, u^k e y_{lin}^k los valores de las variables correspondientes en los puntos de discretización t^k . Las matrices y los vectores A^k, b^k y C^k se obtienen resolviendo la ecuación de transición en $[t^k, t^{k+1}]$ a partir de A, b y C .

- 5 El funcional de rendimiento (ecuación (20)) y las limitaciones (ecuaciones (17)(18)) también se discretizan de manera correspondiente.

De este modo, el problema de control óptimo continuo en el tiempo se aproxima como un objetivo de la programación cuadrática para las variables de estado y las magnitudes de ajuste $[x_{lin}^k, u_{lin}^k]$ del problema discreto y se puede resolver con un algoritmo "Interior Point" habitual. En el algoritmo se usa la estructura de las ecuaciones de modelo discretas en un enfoque similar a RICCATI para obtener una solución de la ecuación de NEWTON con $O(K(m^3 + n^3))$ operaciones. Es decir, el despliegue de cálculo aumenta de manera lineal con el horizonte de optimización K y de manera cúbica con el número de las magnitudes de ajuste (m) y variables de estado (n).

- 10 Etapas de discretización no equidistantes $\Delta T^k = t^{k+1} - t^k$ en el horizonte de predicción del control predictivo de modelos ayudan a limitar la dimensión del problema de control óptimo. La representación muestra que el ancho de paso inicial se determina mediante el ciclo de la generación de trayectorias y entonces se amplía de manera lineal dentro del horizonte de predicción.

- 15 Mediante el control de grúa según la invención con la amortiguación de oscilaciones de carga correspondiente en la que entran datos de las dos unidades de sensor asignadas a los respectivos ramales de cable y que está construida tal como se describió anteriormente se puede conseguir una amortiguación rápida y segura de las oscilaciones pendulares esféricas de la carga con desviaciones pendulares sólo mínimas. Esto muestran los siguientes resultados de medición que se han realizado con una longitud de cable de 57 m y una carga de 3,5 t.

- 20 La figura 11 muestra a este respecto la velocidad de la carga, por un lado, tal como se establece por el maquinista de grúa mediante un elemento de entrada, y, por otro lado, tal como se establece mediante el módulo de planificación de trayecto según la invención mediante un control óptimo como trayectoria deseada. A este respecto se tienen en cuenta las limitaciones del sistema de modo que el límite superior para la velocidad de la carga depende de la posición de carga radial, ya que la geometría de la pluma así como del cilindro basculante permite diferentes velocidades máximas en caso de diferentes posiciones de pluma. En cambio, para la aceleración máxima se establece una limitación constante.

- 25 La figura 12a compara ahora esta trayectoria deseada con la velocidad medida de la carga. La regulación según la invención sigue a este respecto a la trayectoria deseada, compensando el módulo de planificación de trayecto inseguridades en el modelo mediante una planificación de trayecto basada en modelos. De ello resulta un movimiento rápido y amortiguado de la carga sin sobreoscilaciones considerables. La figura 12b muestra entonces la trayectoria correspondiente de la posición de carga.

- 30 La regulación según la invención amortigua las oscilaciones esféricas de la carga mediante movimientos compensadores correspondientes de la pluma durante y al final de cada maniobra. Esto se muestra en la figura 13 de la que resultan los movimientos contrarios realizados por la punta de pluma que contrarrestan la oscilación de la carga. De este modo se puede limitar el ángulo de cable a menos de 3°.

- 35 El tiempo de cálculo necesario para el cálculo en línea del problema de solución óptima en el módulo de planificación de trayecto se muestra a este respecto en la figura 14. A este respecto resultan tiempos de cálculo entre 54 mseg y 66 mseg. Es decisiva para esta respuesta extremadamente corta de la planificación de trayecto con respecto a especificaciones del maquinista de grúa a este respecto, por un lado, la solubilidad rápida mediante el trayecto lineal conectado aguas abajo de la regulación no lineal y del sistema de grúa no lineal así como la longitud creciente de los intervalos dentro del horizonte de predicción entre los puntos de apoyo de la predicción.

REIVINDICACIONES

1. Control de grúa para la activación de los mecanismos de regulación de una grúa que tiene al menos unos ramales de cable primero y segundo para elevar la carga (10), con una amortiguación de oscilaciones de carga para amortiguar oscilaciones pendulares esféricas de la carga (10), estando previstas unas unidades de sensor primera y segunda que están asignadas a los ramales de cable primero y segundo para la determinación de los respectivos ángulos de cable y/o velocidades de ángulo de cable, caracterizado porque la amortiguación de oscilaciones de carga tiene una regulación no lineal en la que entran los ángulos de cable y/o las velocidades de ángulo de cable determinados por las unidades de sensor primera y segunda, y basándose la regulación no lineal en la inversión de un modelo físico no lineal del movimiento de la carga (10) en función de los movimientos de los mecanismos de regulación, sirviendo mediante la inversión el movimiento de la carga como magnitud de entrada para activar los mecanismos de regulación.
2. Control de grúa según la reivindicación 1, caracterizado porque las unidades de sensor primera y segunda comprenden respectivamente una unidad de giroscopio.
3. Control de grúa según la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque las unidades de sensor primera y segunda están dispuestas respectivamente en un elemento de seguimiento de cable (41, 42), en el que los elementos de seguimiento de cable (41, 42) están conectados preferiblemente en cada caso a través de una articulación cardán con la pluma (1) de la grúa y siguen al movimiento del ramal de cable al que están asignados.
4. Control de grúa según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los datos medidos por las unidades de sensor primera y segunda se evalúan por unos circuitos observadores primero y segundo, realizándose preferiblemente una compensación de los datos medidos por las unidades de sensor primera y segunda con respecto al ángulo de instalación de las unidades de sensor y con respecto al ángulo de giro de la grúa y detectándose errores de sensor de manera especialmente preferible mediante una comparación de los datos medidos por las unidades de sensor primera y segunda.
5. Control de grúa según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque en la amortiguación de oscilaciones de carga se tiene en cuenta la oscilación de torsión del campo de cable mediante una promediación de los ángulos de cable y/o de las velocidades de ángulo de cable determinados por las unidades de sensor primera y segunda.
6. Control de grúa según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la amortiguación de oscilaciones de carga comprende un módulo de planificación de trayecto que establece trayectorias deseadas para la regulación, entrando preferiblemente el estado de sistema actual de la grúa, en particular la posición de la pluma (1) y/o los ángulos de cable y/o velocidades de ángulo de cable determinados por las unidades de sensor primera y segunda como magnitud de entrada en el módulo de planificación de trayecto, en el que, de manera especialmente preferible, el módulo de planificación de trayecto tiene en cuenta limitaciones del sistema en la generación de trayectorias deseadas y en el que, de manera especialmente ventajosa, el módulo de planificación de trayecto comprende un control óptimo para la generación de las trayectorias deseadas, y en el que, además preferiblemente, el módulo de planificación de trayecto funciona con una longitud creciente de los intervalos de cálculo en la predicción dentro del horizonte de tiempo.
7. Control de grúa según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la posición y la velocidad del cabezal de pluma (30) entran en la regulación de la amortiguación de oscilaciones de carga.
8. Grúa para elevar una carga (10), con mecanismos de regulación para mover la grúa y una carga (10), teniendo la grúa al menos dos ramales de cable para elevar la carga (10), y estando previstas dos unidades de sensor que están asignadas a los dos ramales de cable para determinar los respectivos ángulos de cable y/o velocidades de ángulo de cable, teniendo la grúa un control de grúa para activar los mecanismos de regulación según una de las reivindicaciones 1 a 7.
9. Grúa según la reivindicación 8, teniendo ésta preferiblemente un mecanismo de giro para girar la grúa y/o un mecanismo basculante para bascular una pluma (1) que se activan por el control de grúa.
10. Procedimiento para activar los mecanismos de regulación de una grúa que tiene al menos unos ramales de cable primero y segundo para elevar la carga (10), amortiguándose oscilaciones pendulares esféricas de la carga (10) mediante una amortiguación de oscilaciones de carga, determinándose los ángulos de cable y/o las velocidades de ángulo de cable de los ramales de cable primero y segundo mediante unas unidades de sensor primera y segunda que están asignadas a los ramales de cable primero y segundo, caracterizado porque la amortiguación de oscilaciones de carga tiene una regulación no lineal en la que entran los ángulos de cable y/o las velocidades de ángulo de cable determinados por las unidades de sensor primera y segunda, y basándose la regulación no lineal en la inversión de un modelo físico no lineal del movimiento de la carga (10) en función de los movimientos de los

mecanismos de regulación, sirviendo mediante la inversión el movimiento de la carga como magnitud de entrada para activar los mecanismos de regulación.

5 11. Procedimiento según la reivindicación 10, caracterizado porque se realiza una compensación de los datos medidos por las unidades de sensor primera y segunda con respecto al ángulo de instalación de las unidades de sensor y con respecto al ángulo de giro de la grúa.

12. Procedimiento según la reivindicación 9 o 10, caracterizado porque se detectan errores de sensor mediante una comparación de los datos medidos por las unidades de sensor primera y segunda.

10 13. Procedimiento según una de las reivindicaciones 10 a 12, caracterizado porque en la amortiguación de oscilaciones de carga se tiene en cuenta la oscilación de torsión del campo de cable mediante una promediación de los ángulos de cable y/o de las velocidades de ángulo de cable determinados por las unidades de sensor primera y segunda.

14. Procedimiento según una de las reivindicaciones 10 a 13 con un control de grúa según una de las reivindicaciones 1 a 7.

Fig. 0A

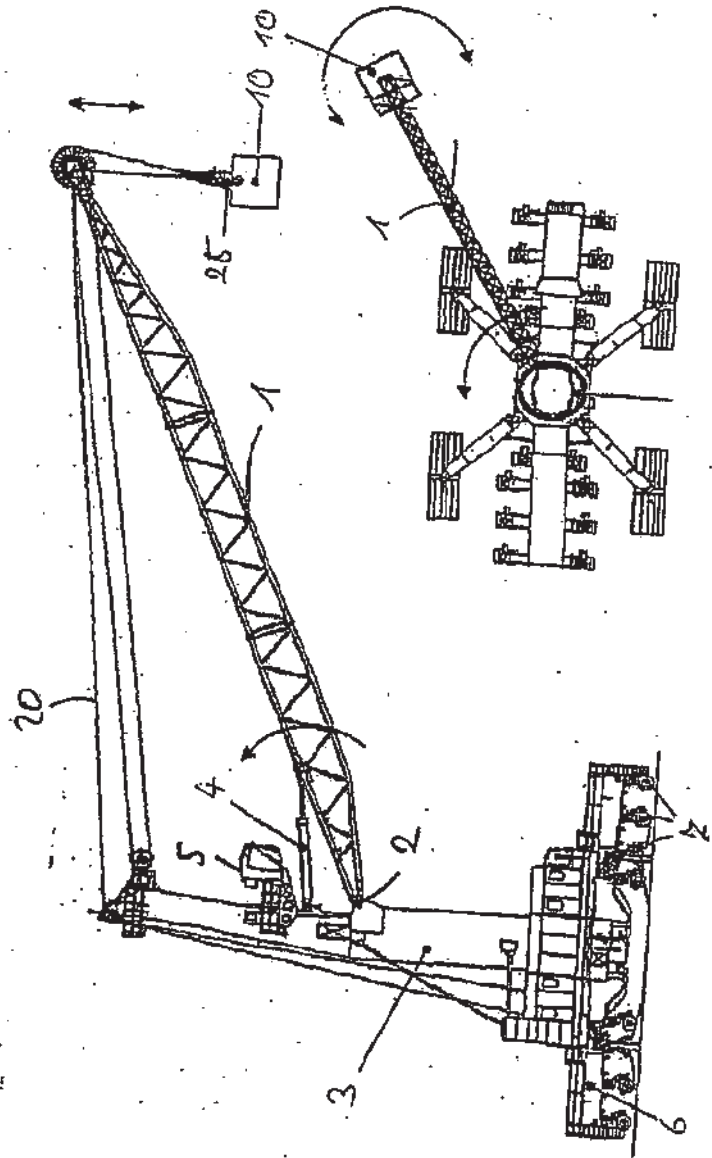
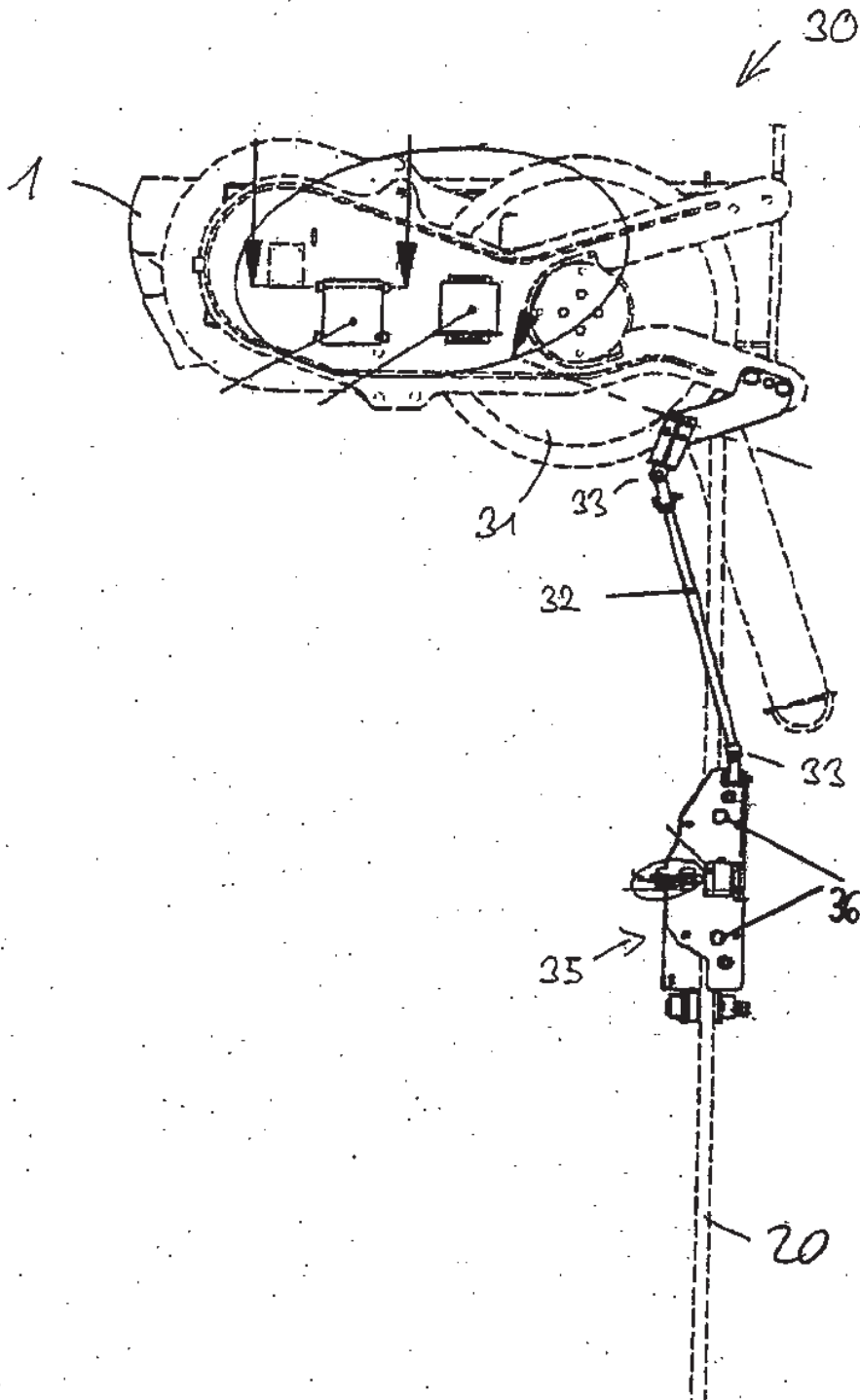


Fig 0B



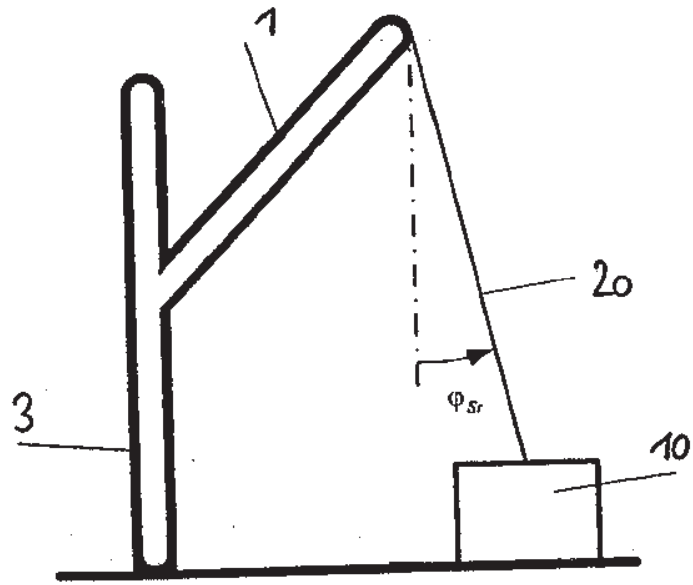


Fig 1A

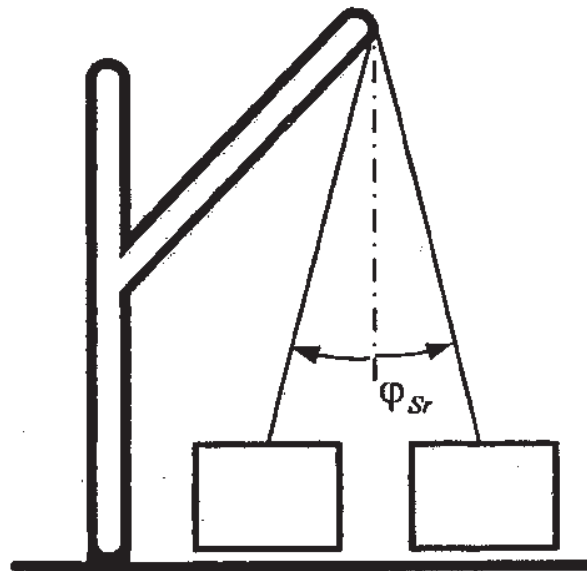
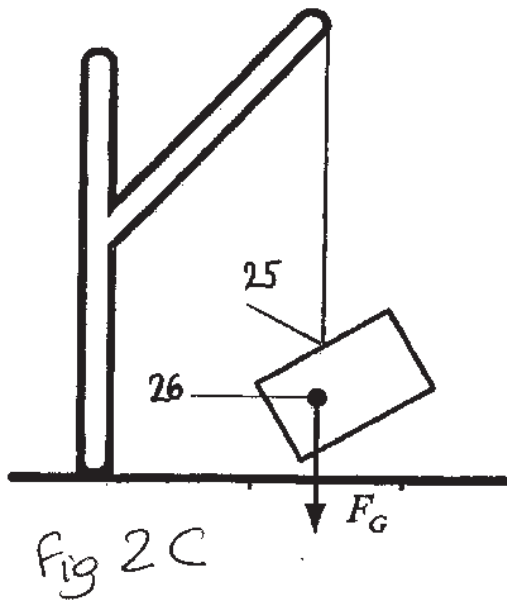
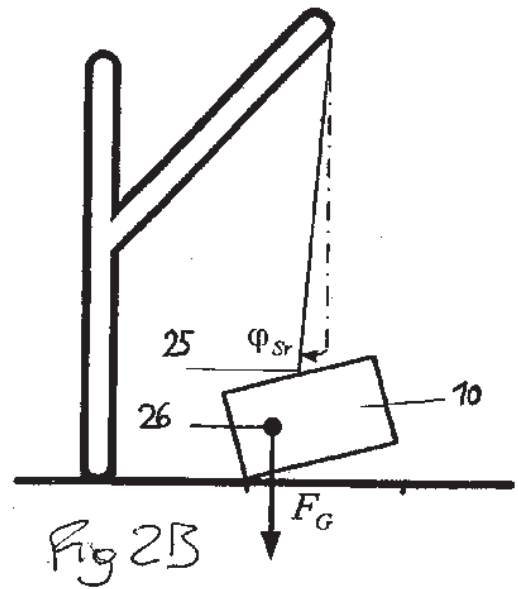
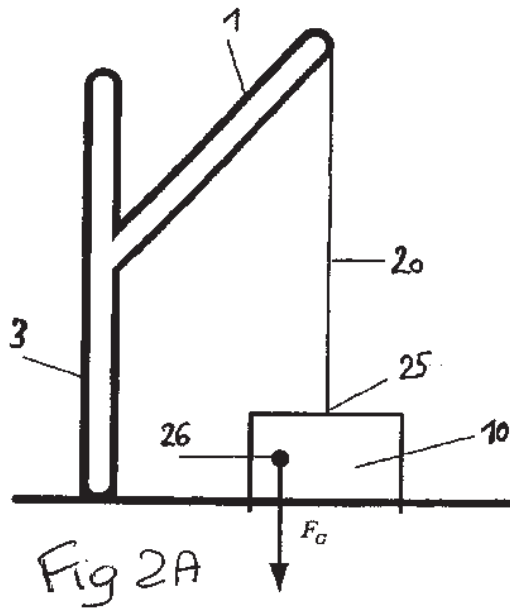
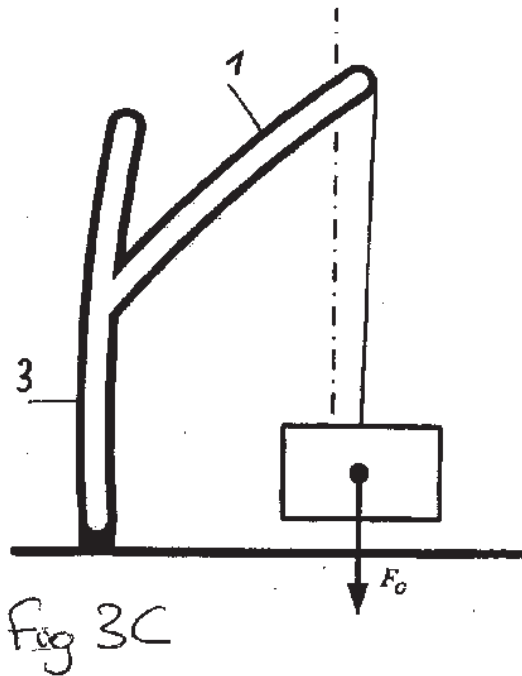
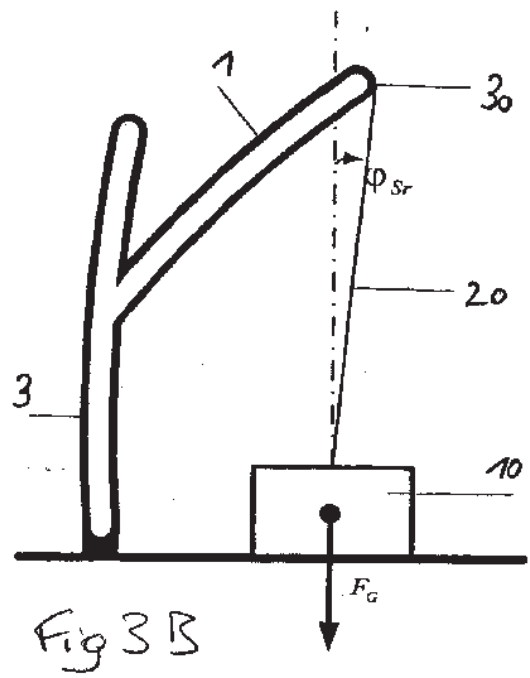
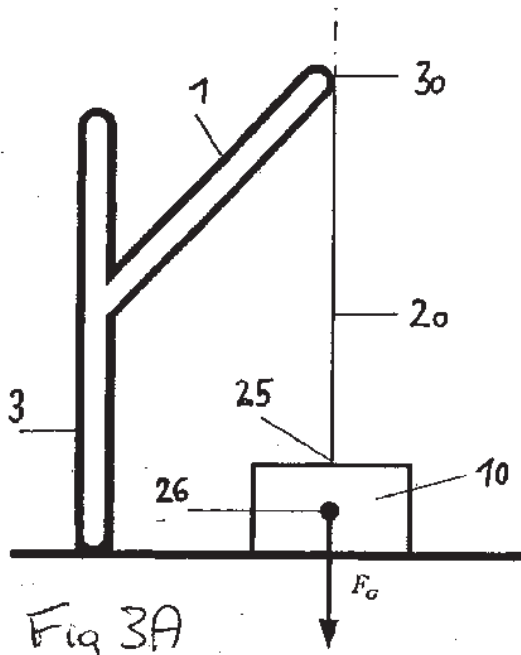


Fig 1B





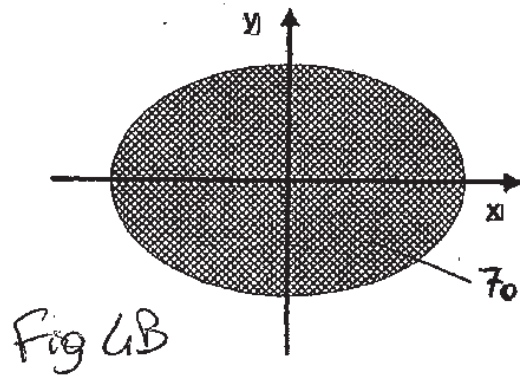
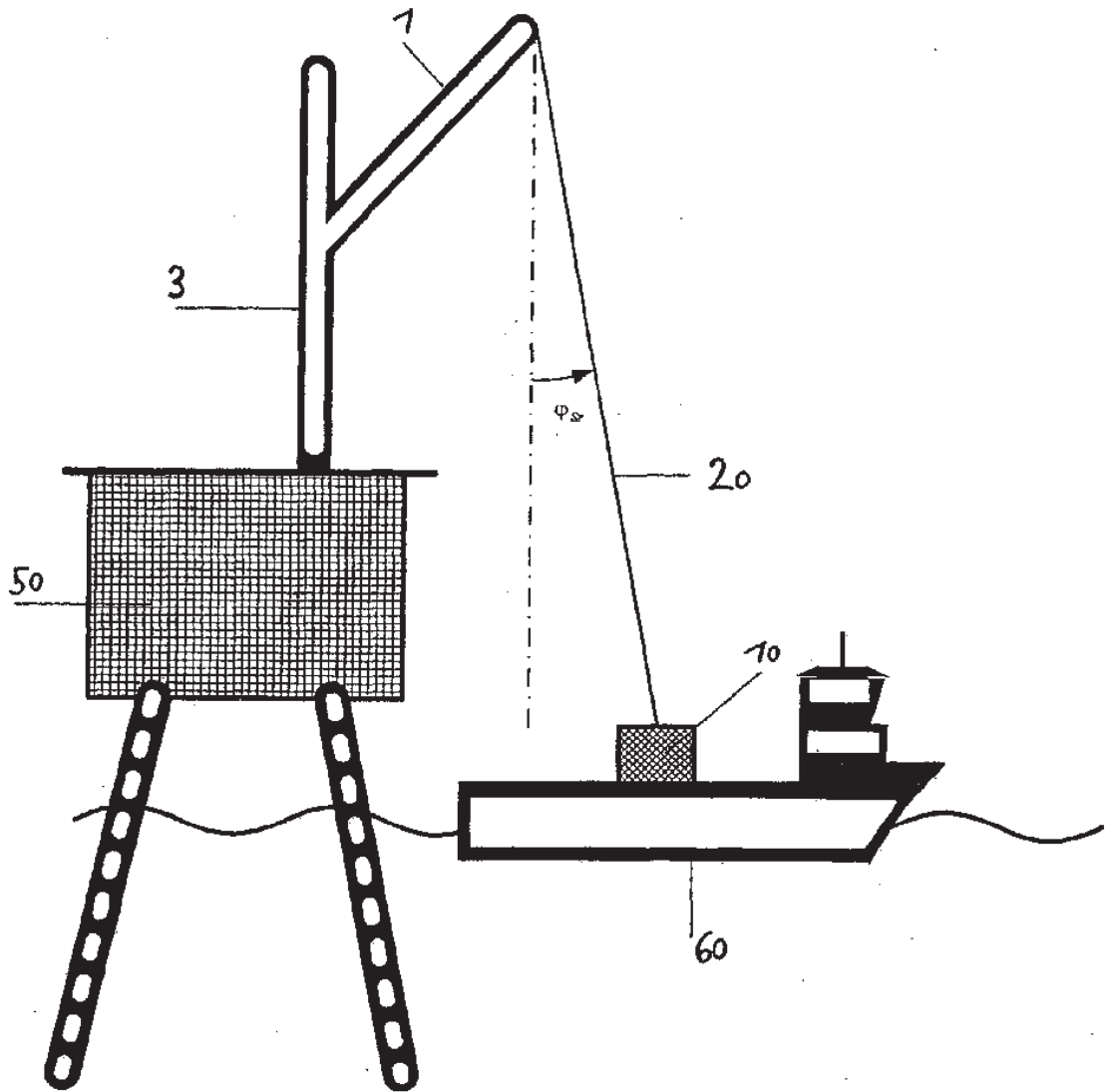


Fig. 5

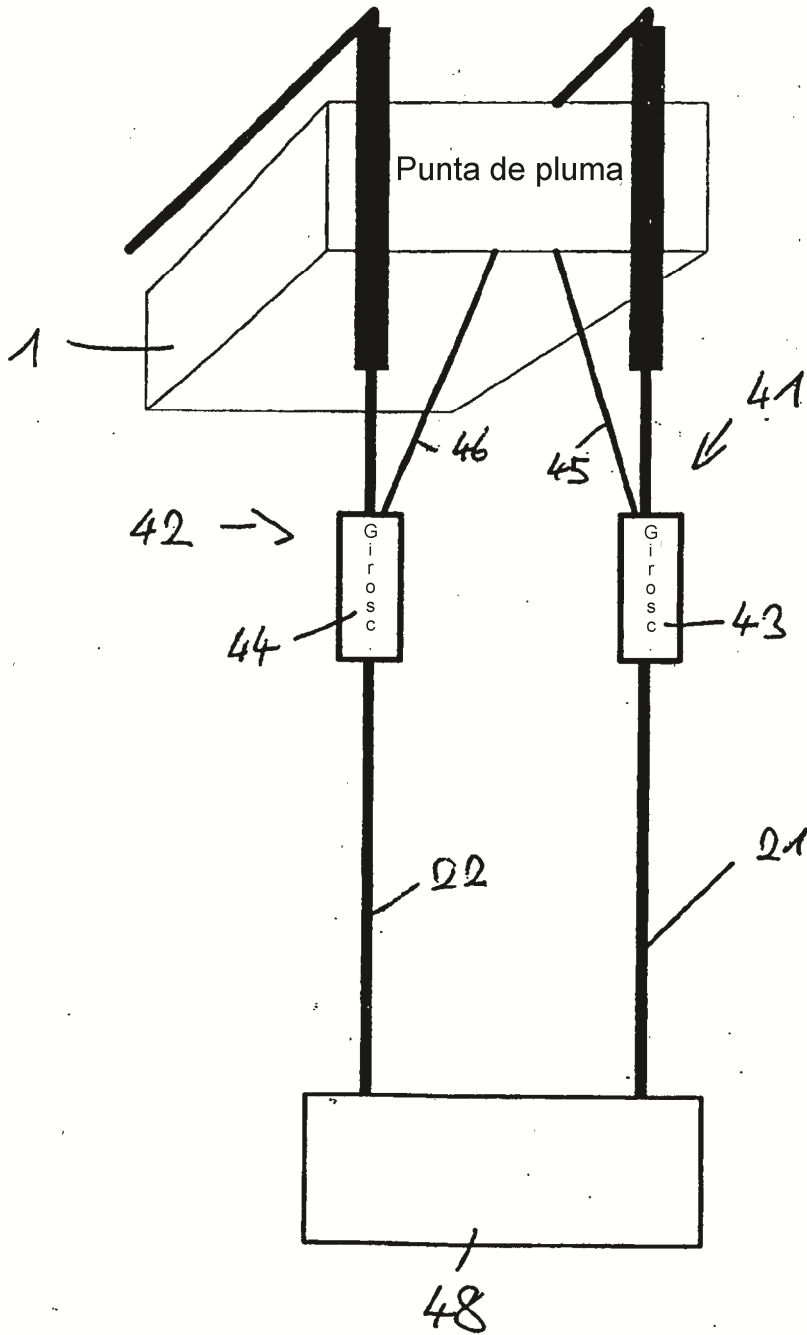


Fig. 6

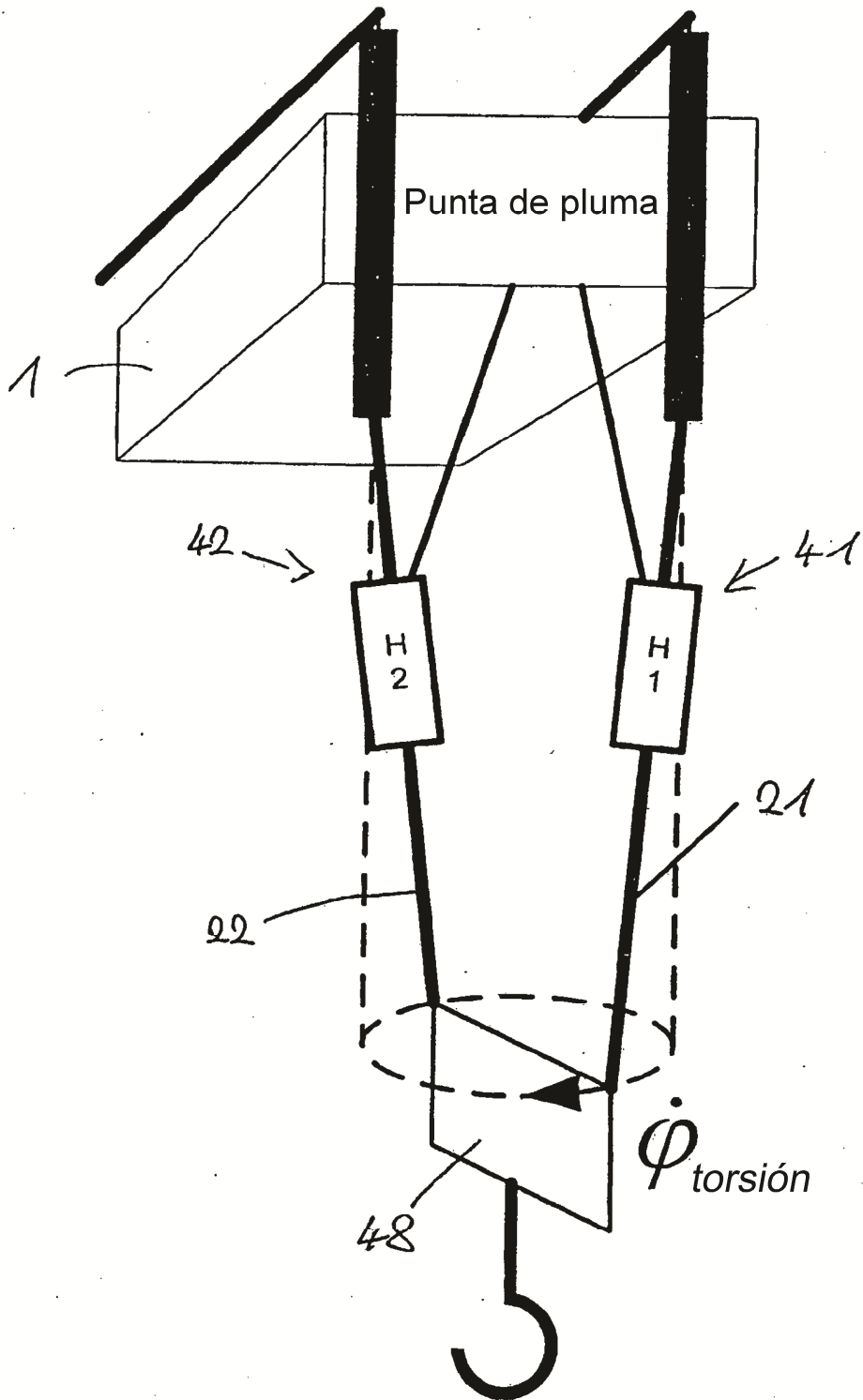


Fig. 7

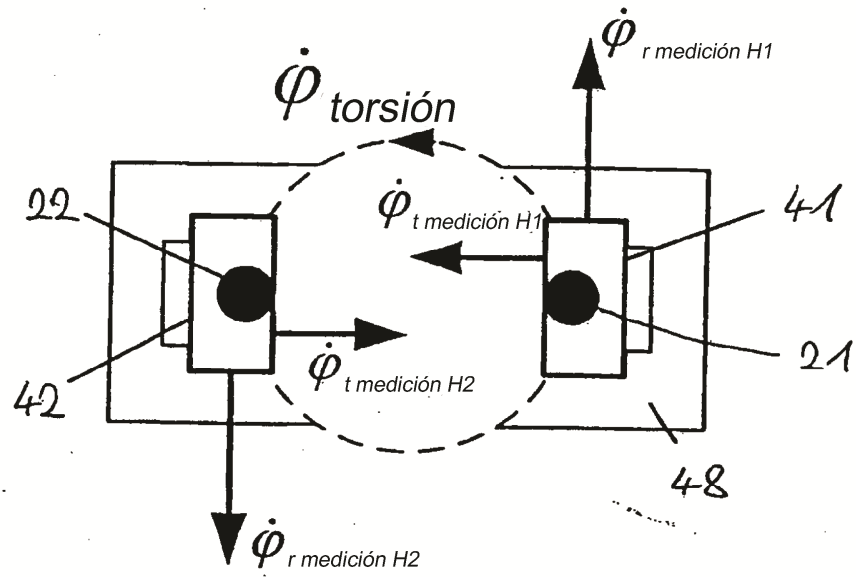


Fig. 8

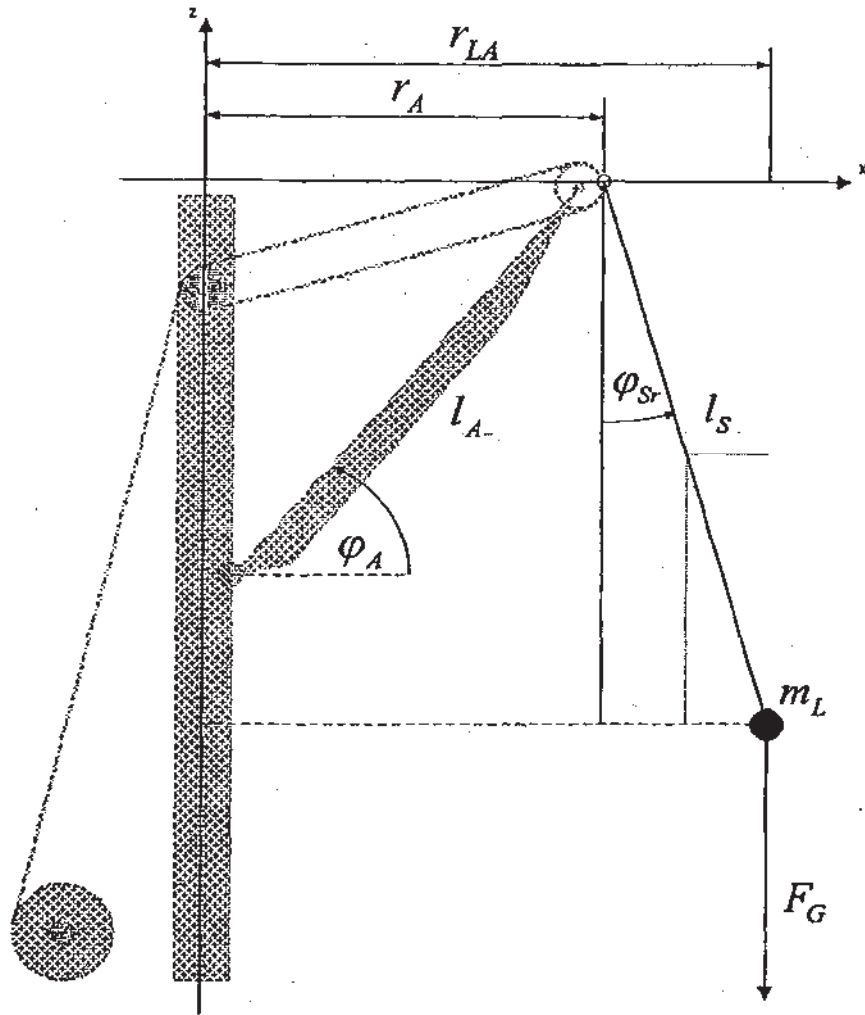


Fig. 9

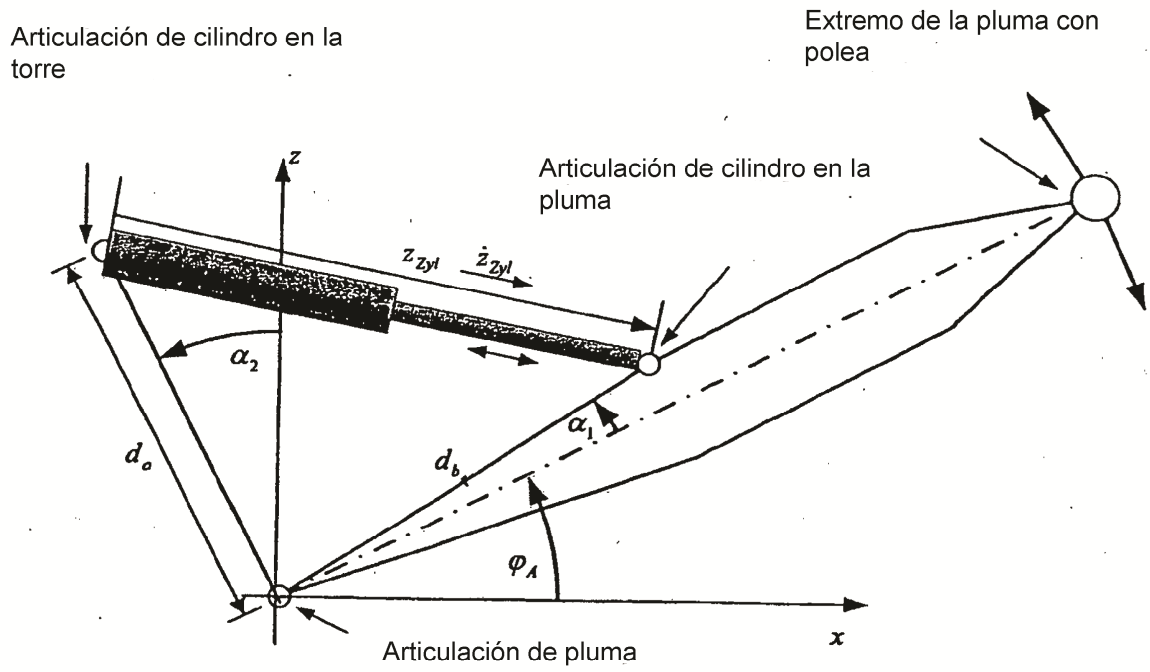


Fig. 10

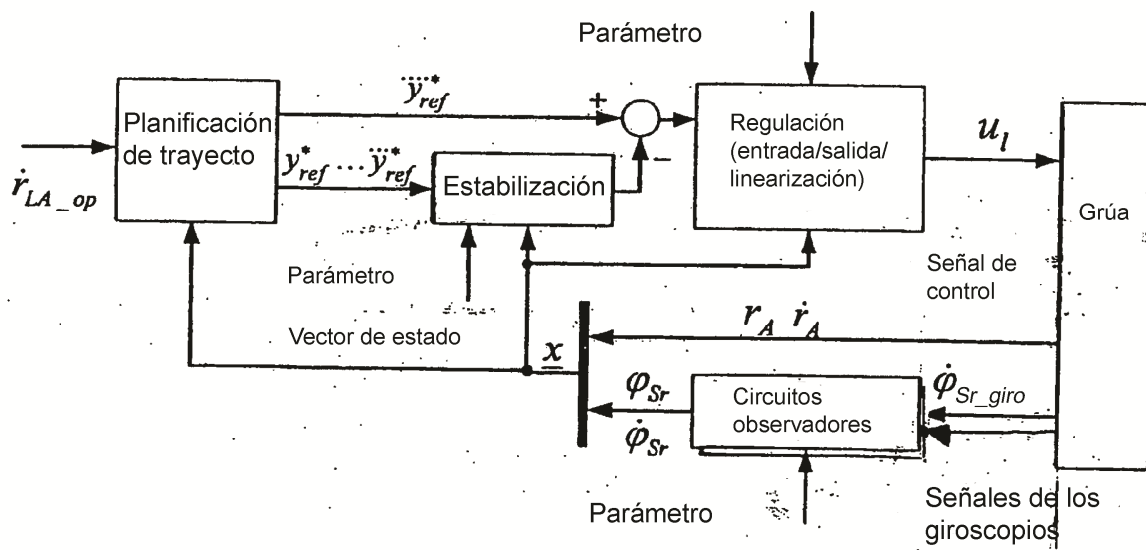


Fig. 11

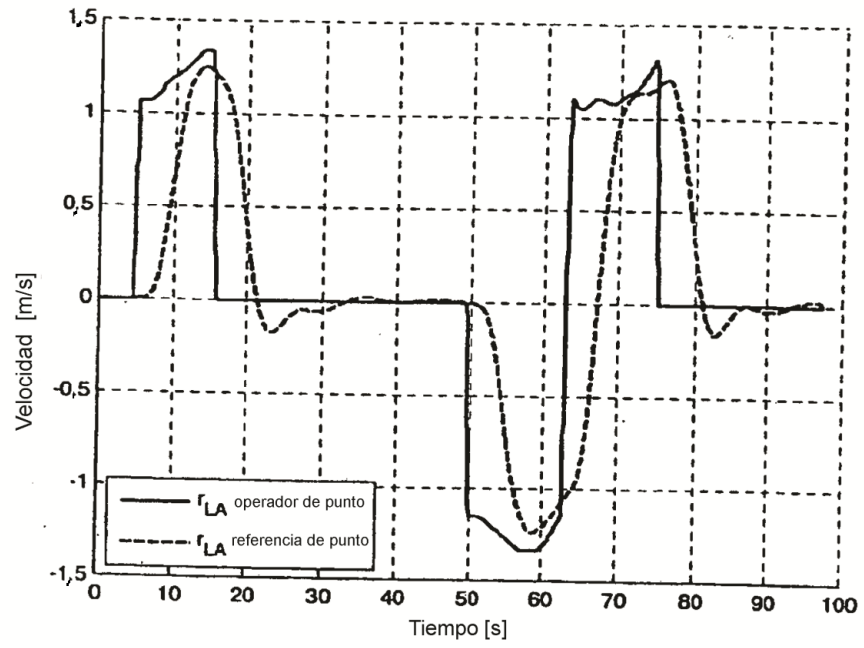


Fig. 12a

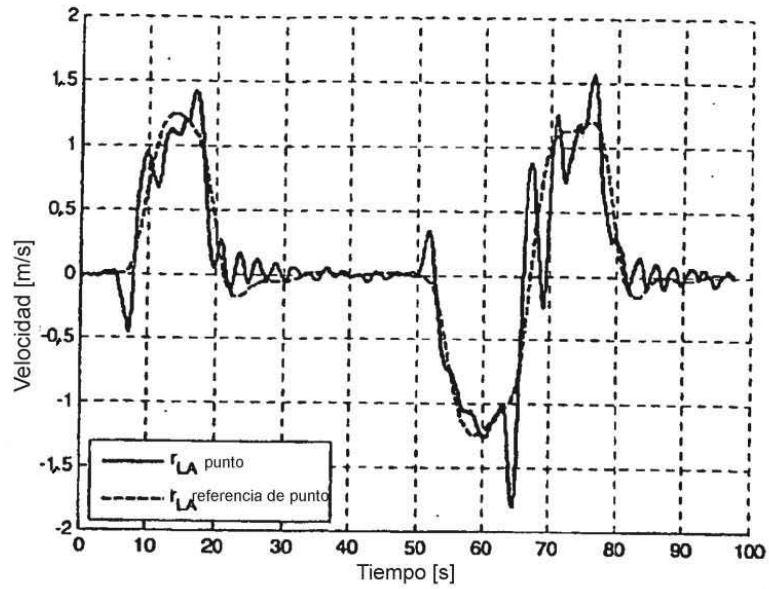


Fig. 12 b

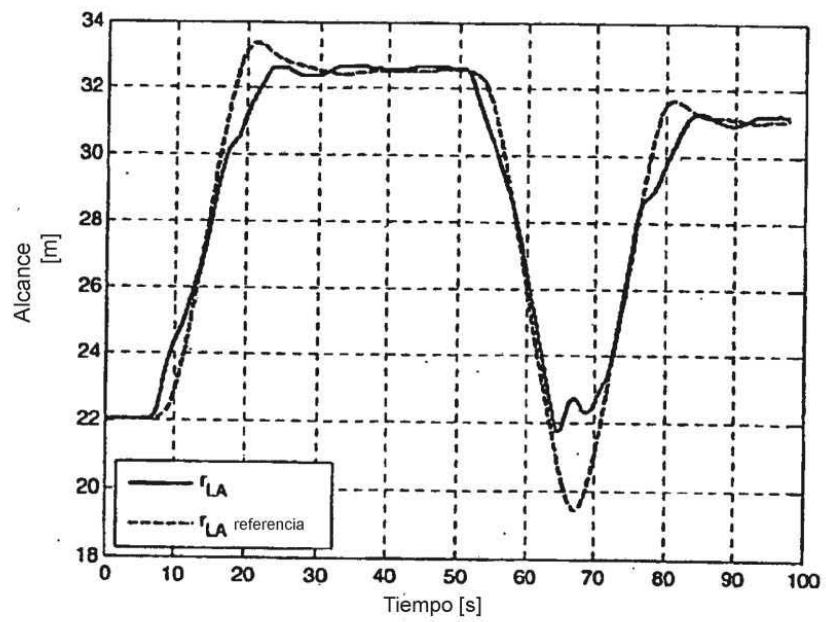


Fig. 13

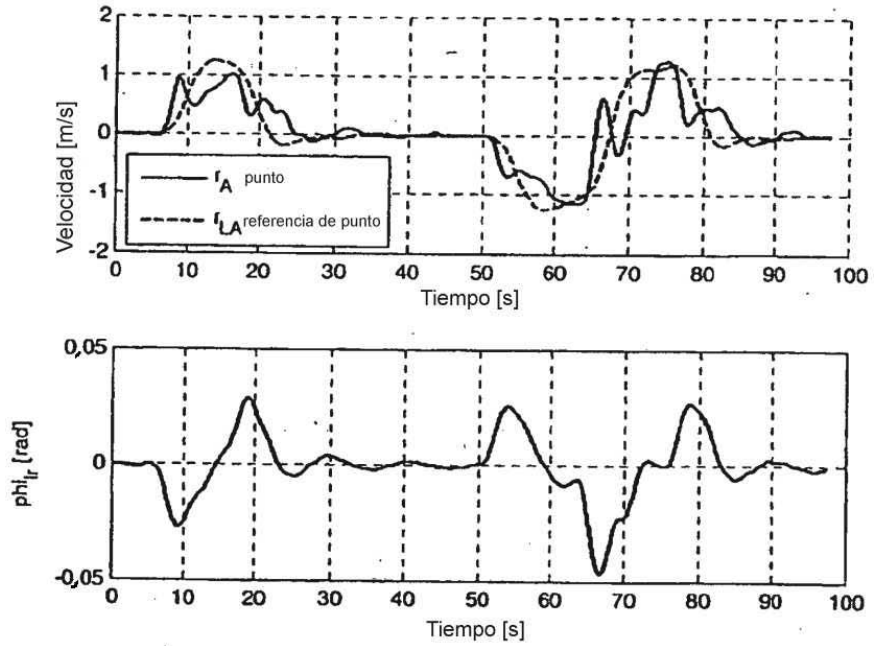


Fig. 14

