(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 500 493**

(51) Int. CI.:

E06C 5/36 (2006.01)
B66F 11/04 (2006.01)
E06C 5/04 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.08.2008 E 08162080 (9)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.06.2014 EP 2022749**

(54) Título: **Escalera de placa giratoria**

(30) Prioridad:

10.08.2007 DE 102007038016

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.09.2014

(73) Titular/es:

IVECO MAGIRUS AG (100.0%)
Nicolaus-Otto-Strasse 27
89079 Ulm, DE

(72) Inventor/es:

SAWODNY, OLIVER;
ZIMMERT, NICO y
KHARITONOV, ALEXANDER

(74) Agente/Representante:

RUO, Alessandro

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

Escalera de placa giratoria

[0001] La presente invención se refiere a una escalera de placa giratoria, una plataforma telescópica o similar, con un conjunto de escalera telescópica o mástil telescópico y, posiblemente, a una jaula de pasajeros unida a la misma, de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

[0002] Específicamente, la invención se refiere a una escalera de placa giratoria, por ejemplo una escalera contra incendios con un brazo articulado flexible, o un sistema similar, tal como plataformas telescópicas o articuladas y equipos de rescate aéreos. Por lo general, estos sistemas se montan en un vehículo de tal manera que son giratorios y erguibles, y pueden estar provistos de un brazo articulado flexible que puede, además, ser telescópico con otro eje. El dispositivo de control es un sistema de control de trayectoria continua que mueve la jaula de pasajeros o la plataforma de elevación a lo largo de una trayectoria predeterminada en el área de funcionamiento de la escalera de placa giratoria o plataforma de elevación. Las oscilaciones y movimientos pendulares de la jaula de pasajeros y de la plataforma de elevación se amortiguan de manera activa.

[0003] Los dispositivos de control para escaleras giratorias, plataformas elevadas y similares se divulgan en los documentos DE 100 16 136 C2 y DE 100 16 137 C2, por ejemplo. Las oscilaciones en los elementos de la escalera se pueden suprimir si al menos un valor del conjunto de escalera se retroalimenta, a través de un controlador, a los valores de accionamiento para las unidades de accionamiento. Un dispositivo de pre-control representa el movimiento ideal de la escalera en un modelo dinámico en base a ecuaciones diferenciales, y calcula los valores de control ideales para las unidades de accionamiento de los elementos de la escalera, para permitir básicamente el movimiento de libre oscilación de la escalera. El documento DE 10 2005 042 721 A1 desvela un dispositivo de control de este tipo para una escalera de placa giratoria que, en el extremo de su conjunto de escalera, está provisto de un brazo articulado al que se fija una jaula de pasajeros. Sus características dinámicas se incluyen en el modelo dinámico utilizado para representar las características, permitiendo de este modo la configuración adecuada del dispositivo de control.

[0004] Las escaleras articuladas de la técnica anterior o similares se controlan hidráulica o electro-hidráulicamente por palancas de accionamiento manual. En el caso del dispositivo de control puramente hidráulico, la deflexión de la palanca de accionamiento manual se traduce directamente, a través del circuito de control hidráulico, en una señal de control proporcional para el bloque de control, que se ha concebido como una válvula proporcional. Se pueden utilizar elementos de amortiguación en el circuito de control hidráulico para hacer los movimientos menos bruscos y más suaves en transición. Sin embargo, estos no se pueden ajustar satisfactoriamente en toda el área de operación de la longitud de extensión y el ángulo de erección. Además, esto a menudo conlleva a ajustes fuertemente amortiguados con reacciones lentas.

[0005] Los dispositivos de control de trayectoria continua actuales influyen activamente en un movimiento contrario en el caso de la oscilación en el conjunto de escalera. Sin embargo, la oscilación solo se reconstruye a partir de una señal de banda de medición de la expansión, y el modelo en que se basa solo tiene en cuenta los componentes de oscilación fundamentales. Los modos más altos de oscilación no se consideran en la disposición de amortiguación de la oscilación de acuerdo con los documentos DE 100 16 136 C2 y DE 100 16 137 C2. Además, la reconstrucción del estado de flexión se basa únicamente en las señales de banda de medición de la expansión y en una reconstrucción derivada de la señal de presión de la unidad de accionamiento hidráulica. Para el presente caso, que implica la simulación de las oscilaciones armónicas, esto no siempre es suficiente.

[0006] La tarea de la presente invención es, por lo tanto, crear una escalera de placa giratoria, una plataforma de mástil telescópico o similar, de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1, en la que los estados de oscilación de la escalera o del mástil telescópico se pueden registrar y reconstruir con más precisión, de manera que las oscilaciones que se producen activamente (ya sea durante el movimiento o en reposo, causadas por ejemplo, por el viento o cambios en la carga) se puedan amortiguar, o que el extremo de la escalera con la jaula de pasajeros o plataforma de trabajo se pueda guiar a lo largo de una trayectoria predeterminada. El objetivo no solo es permitir la compensación de la oscilación fundamental, sino también amortiguar eficazmente los modos de oscilación.

[0007] De acuerdo con la invención, esta tarea se resuelve por una escalera de placa giratoria o plataforma de mástil telescópico con las características de la reivindicación 1.

[0008] De acuerdo con la invención, los sensores inerciales se fijan al conjunto de escalera o al mástil telescópico y/o a la jaula de pasajeros para detectar el estado de flexión del conjunto de escalera o del mástil telescópico. Los sensores inerciales se pueden fijar ya sea al conjunto de escalera o al mástil telescópico, a una jaula de pasajeros fijada a este último, o tanto al conjunto de escalera o mástil telescópico como a la jaula de pasajeros.

[0009] Una pluralidad de sensores inerciales para la medición de la velocidad angular en diferentes direcciones espaciales se proporcionan preferentemente en la jaula de pasajeros y/o en el extremo del conjunto de escalera o mástil telescópico conectado con la jaula de pasajeros.

[0010] De acuerdo con otra realización preferida, otros sensores inerciales se proporcionan en la jaula de pasajeros y/o en el extremo correspondiente del conjunto de escalera o mástil telescópico para medir la aceleración en varias direcciones espaciales.

[0011] El uso de, por ejemplo, una plataforma giroscópica en la parte superior de la escalera o parte de mástil telescópico, o en la jaula de pasajeros, que comprende hasta tres sensores en las direcciones espaciales cartesianas para la detección de la velocidad angular, ha demostrado ser particularmente ventajosa. Esta plataforma giroscópica se puede complementar con tres sensores de aceleración en las direcciones espaciales correspondientes.

[0012] En particular, la escalera de placa giratoria o plataforma de mástil telescópico de acuerdo con la presente invención comprende un dispositivo de pre-control que, cuando se hace funcionar la jaula de pasajeros, representa el movimiento ideal de la escalera o del mástil telescópico en un modelo dinámico, en base a ecuaciones diferenciales, y, utilizando el modelo dinámico, calcula los valores de control ideales para el accionamiento de las partes de la escalera o partes del mástil telescópico para el movimiento esencialmente de libre oscilación de la escalera o del mástil telescópico, simulando dicho modelo dinámico una distribución de masa del conjunto de escalera o mástil telescópico.

[0013] Como en el estado de la técnica, el control de la trayectoria continua con la amortiguación de oscilación activa de acuerdo con la invención se basa también en la idea básica de comenzar representando el comportamiento dinámico del sistema mecánico e hidráulico de la escalera de placa giratoria o plataforma de mástil telescópico en un modelo dinámico en base a ecuaciones diferenciales.

[0014] En contraste con las solicitudes DE 100 16 136 C2 y DE 100 16 137 C2, el enfoque utilizado para el modelo dinámico no es uno basado en un modelo de multi-elemento elástico como una aproximación del modelo paramétrico distribuido, sino que más bien las masas distribuidas del conjunto de escalera se modelan directamente. Al hacerlo así, la masa de la jaula de pasajeros todavía se puede tomar como la masa puntual.

[0015] También preferentemente, un módulo de planificación de trayectoria se utiliza para generar la trayectoria de movimiento de la escalera o del mástil telescópico en el área de funcionamiento, y transmite la trayectoria de movimiento en forma de funciones de tiempo para la posición de la jaula de pasajeros, velocidad de la jaula de pasajeros, aceleración de la jaula de pasajeros, sacudidas de la jaula de pasajeros y, posiblemente, derivación de las sacudidas de la jaula de pasajeros, a un bloque de pre-control que controla el accionamiento de las partes de escalera o de las partes del mástil telescópico.

[0016] Un ejemplo de una realización preferida de la invención se describirá en más detalle a continuación con referencia a los dibujos, en los que:

La Figura 1 es un diagrama esquemático de la estructura mecánica de una realización de una escalera de placa giratoria de acuerdo con la presente invención;

La Figura 2 es un diagrama esquemático para explicar los grados de libertad del sistema;

La Figura 3 es un diagrama esquemático del circuito de control para controlar el movimiento de la escalera de placa giratoria de la invención de acuerdo con una primera realización;

La Figura 4 muestra un circuito de control adicional para controlar el movimiento de una escalera de placa giratoria de la invención de acuerdo con una segunda realización;

La Figura 5 es un diagrama para mostrar las funciones intrínsecas de la ecuación diferencial para describir la flexión; y

Las Figuras 6a y 6b son diagramas para mostrar la oscilación a lo largo del tiempo.

[0017] Si bien la Figura 1 es una representación esquemática de la estructura de todo el sistema, la Figura 2 explica, a modo de ejemplo, el movimiento de giro de la escalera de placa giratoria de acuerdo con la invención. La siguiente representación de la invención se refiere, a modo de ejemplo solamente pero sin limitar de ninguna manera, a una escalera de placa giratoria, y se puede utilizar también fácilmente para una plataforma de mástil telescópico o similar, provista de un mástil telescópico. Las partes individuales de este mástil telescópico corresponden entonces a las partes de la escalera del conjunto de escalera de la escalera de placa giratoria que se describe en el presente documento. Además, la invención no se limita a una escalera de placa giratoria con una jaula de pasajeros, sino que se puede utilizar también fácilmente en escaleras o plataformas de mástil telescópico sin una jaula de pasajeros.

[0018] La Figura 3 muestra una representación esquemática de un circuito de control para controlar el movimiento de la escalera de placa giratoria que se presenta en el presente documento. En la evaluación basada en modelos,

los datos de medición del giroscopio se corrigen inicialmente en relación con el desplazamiento. En la evaluación basada en modelos, la influencia de la gravedad causada por el peso intrínseco de la escalera (también durante el movimiento) se calcula utilizando la señal de banda de medición de la expansión. En la transformación modal posterior, estas señales se utilizan para calcular los dos primeros modos de oscilación intrínseca. Estos se pueden retroalimentar en compensación de forma separada a través de la retroalimentación del regulador, y por lo tanto tienen un efecto de amortiguación de la oscilación. Con respecto al estado anterior de la técnica, se consigue por tanto amortiguar tanto la oscilación fundamental como la primera oscilación armónica.

[0019] Una estructura alternativa se muestra en la Figura 4. Sin embargo, en contraste con la Figura 3, solamente la oscilación fundamental se extrae de las señales de los sensores y los componentes de los modos más altos se calculan a través de un observador en base a los modelos. Esto no produce la supresión activa de la primera oscilación armónica, pero se puede evitar que los componentes de los modos más altos se acoplen y tengan un efecto desestabilizador en el vehículo a través de la retroalimentación. Una vez aislada, la oscilación fundamental se retroalimenta a continuación, con el efecto de amortiguación activo, a la entrada del actuador.

[0020] En ambas estructuras, es muy ventajoso que las trayectorias dianas se guíen a través de un dispositivo de pre-control en base a modelos, y por lo tanto se ajustan a la dinámica del sistema. Esto significa que la generación de la oscilación por los valores de guía del sistema se puede evitar. Contrariamente a los controles en los documentos DE 100 16 136 C2 y DE 100 16 137 C2, este método se puede utilizar para el caso generalmente no lineal que se presenta en el presente documento.

[0021] Esto se explicará ahora a modo de ejemplo para la erección y la inclinación. El procedimiento se puede transferir directamente a la dirección de giro, ya que la influencia de la gravedad se ignora para la consideración del comportamiento dinámico de la escalera. Para el diseño del pre-control, se hace de nuevo referencia a un modelo con parámetros concentrados. Las ecuaciones de movimiento para la dirección de erección/inclinación son los siguientes:

$$(I) \qquad \ddot{\varphi}_A = -\frac{1}{\tau_A}\dot{\varphi}_A + \frac{k_A}{\tau_A}u$$

$$(II) \qquad 0 = m_1\ddot{v}_z + m_1 L\ddot{\varphi}_A + d_{44}\dot{v}_z + c_v v_z + \frac{\left(L\dot{\varphi}_D + \dot{v}_y\right)^2}{2L}\,\mathrm{sen}\left(2x_1(t) + \frac{2}{L}x_3(t)\right) \qquad (1)$$

Leyenda:

[0022]

$L(t)$... longitud de la escalera, parámetro que cambia a lo largo del tiempo
m_1... masa en movimiento (componente dinámico de la masa total que consiste en un conjunto de escalera, parte posiblemente articulada, más jaula de pasajeros o plataforma elevada)
$c_V(L(t))$... rigidez como función de longitud de la escalera
$d_{44}(L(t))$... coeficiente de amortiguación de la escalera como función de la longitud de la escalera
τ_A... constante de tiempo de la unidad de accionamiento hidráulica
k_A... factor de amplificación de la unidad de accionamiento hidráulica
$\varphi_D(t)$... velocidad de giro, el parámetro que cambia a lo largo del tiempo
$v_V(t)$... deflexión en el extremo de escalera en la dirección horizontal, parámetro que cambia a lo largo del tiempo

[0023] Las ecuaciones del modelo de acuerdo con la ecuación 1 se convierten ahora al estado no lineal general.

$$\begin{aligned}\dot{\underline{x}}(t) &= f\left(\underline{x}(t), u(t)\right)\\ y &= g\left(\underline{x}(t)\right)\end{aligned}, \text{ con } \underline{x}(t) = \begin{bmatrix}\varphi_A(t)\\ \dot{\varphi}_A(t)\\ v_z(t)\\ \dot{v}_z(t)\end{bmatrix} \text{ y } \quad u(t) = \dot{\varphi}_{A,Soll} \qquad (2)$$

[0024] La entrada del actuador es la tensión a través de la válvula proporcional del sistema hidráulico u(t), que se puede interpretar como la velocidad diana $\dot{\varphi}_{A,\,Soll}$. La ecuación 1 alcanza por tanto la siguiente ecuación no lineal de estado con la ecuación de salida para la posición de la jaula de pasajeros, teniendo en cuenta la flexión:

$$\dot{\underline{x}}(t)=\begin{bmatrix} x_2(t) \\ -\frac{1}{\tau_A}x_2(t)+\frac{k_A}{\tau_A}u(t) \\ x_4(t) \\ \frac{L}{\tau_A}x_2(t)-\frac{c_v}{m_1}x_3(t)-\frac{d_{44}}{m_1}x_4(t)-\frac{\left(L\dot{\phi}_D+\dot{v}_y\right)^2}{2L}\text{sen}\left(2x_1(t)+\frac{2}{L}x_3(t)\right)-\frac{Lk_A}{\tau_A}u(t) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$y(t)=x_1(t)+\text{sen}\left(\frac{x_3(t)}{L}\right)$$

Para el análisis continuado del sistema, se determina el grado relativo del sistema con respecto a la salida elegida. El grado relativo de *y(t)* de la ecuación (3) es igual a 2. Este es más pequeño que el orden del sistema (n = 4). Por lo tanto, una entrada diferencialmente plana con grado relativo *r = 4* se selecciona:

$$z(t)=x_1(t)+\frac{x_3(t)}{L}\approx y(t)\ \forall\ \frac{x_3(t)}{L}\leq 0{,}05 \quad (4)$$

[0025] Como corresponde en una primera aproximación para el valor de control real (posición de la jaula de pasajeros teniendo en cuenta la flexión), no hay necesidad de resolver las dinámicas restantes para la generación de las trayectorias de referencia.

[0026] El análisis y diseño en base a la planitud de acuerdo con Rothfuß R.: Anwendung der flachheitsbasierten Analyse und Regelung nichtlinearer Mehrgrößensysteme, VDI-Verlag, 1997, se toman plenamente en cuenta.

[0027] Si se supone $\dot{\phi}_D = 0$ y $\dot{v}_y = 0$, en base a que la salida plana de la posición de la jaula de pasajeros, se obtiene la siguiente parametrización:

$$\begin{aligned} z(t)&=x_1(t)+\frac{x_3(t)}{L} \\ \dot{z}(t)&=x_2(t)+\frac{x_4(t)}{L} \\ \ddot{z}(t)&=-\frac{c_v x_3(t)}{m_1 L} \\ \dddot{z}(t)&=-\frac{c_v x_4(t)}{m_1 L} \\ \ddddot{z}(t)&=-\frac{c_v}{\tau_A m_1^{\,2} L}\left(m_1 L x_2(t)-\tau_A c_v x_3(t)-m_1 L k_A u(t)\right) \end{aligned} \quad (5)$$

[0028] La nueva entrada del sistema se designa por $v(t)=\ddddot{z}(t)$ y se deduce que la ley de control inversa para el pre-control es:

$$u(t)=\frac{1}{c_v k_A}\left(c_v\dddot{z}_{ref}(t)+c_v\tau_A\ddot{z}_{ref}(t)+m_1\dot{z}_{ref}(t)+\tau_A m_1 v(t)\right) \quad (6)$$

[0029] Utilizar las trayectorias dianas a lo largo del tiempo para la posición de la jaula de pasajeros y sus derivaciones como información de entrada, permite la generación de un valor de control ideal para la posición de la válvula, sin oscilaciones intrínsecas que se activan cuando se mueve la escalera. Las oscilaciones restantes se producen como resultado de las imprecisiones del modelo y de los factores externos (carga/descarga de la jaula de pasajeros, viento) y se suprimen a través de la retroalimentación.

[0030] En el caso de la estructura de la Figura. 3, la retroalimentación se consigue a través de un desglose modal de las señales medidas a partir de la banda de medición de la expansión y del giroscopio, más la retroalimentación

de las señales de oscilación separadas.

[0031] El modelado como una masa distribuida para el conjunto de escalera y como una masa puntual para la jaula de pasajeros en el extremo del conjunto de escalera significa que se deben cumplir las condiciones límites de la dinámica de la masa concentrada. Aunque se considera que la oscilación de la escalera en el plano vertical (este último puede estar inclinado en un cierto ángulo de erección), la influencia de la gravedad de la masa concentrada se ignora ya que el modelo matemático para ángulos pequeños puede suponer que es lineal y la solución estacionaria al problema tiene en cuenta la influencia de la gravedad. Para la tarea de amortiguar la oscilación, esta influencia puede, por lo tanto, eliminarse básicamente desde el principio. El conjunto de escalera se mueve en el plano del movimiento giratorio a través de un momento M(t) en z = 0 del conjunto de escalera (Figura 2). L es la longitud de la escalera, θ(t) es el ángulo de giro. w(z,t) es la flexión. M_p y J_p son la masa de la jaula de pasajeros, y, posiblemente, el brazo articulado, o el momento de inercia de la jaula de pasajeros convertido en el momento de inercia con respecto al centro de la gravedad de la masa puntual. Suponiendo que la velocidad angular *θ(t)* es pequeña, y que las fuerzas de Coriolis se pueden ignorar, el conjunto de escalera se puede describir como una masa distribuida utilizando una viga de flexión de Bernoulli mediante la siguiente ecuación diferencial parcial, con, en todos los términos de aceleración **designados por la segunda derivación después de un tiempo**, el giro del conjunto de escalera alrededor del ángulo de giro θ(t) tomándose adicionalmente en cuenta:

$$EI\frac{\partial^4 w(z,t)}{\partial z^4} + \rho S\frac{\partial^2 [\theta(t)z + w(z,t)]}{\partial t^2} = 0, \quad z \in (0,L),\ t > 0, \qquad (7)$$

$$w(0,t) = 0,\ t > 0, \qquad (8)$$

$$\frac{\partial w(0,t)}{\partial z} = 0,\ t > 0. \qquad (9)$$

$$-EI\frac{\partial^2 w(l,t)}{\partial z^2} = J_p\frac{d^2}{dt^2}\left(\theta(t) + \frac{\partial w(L,t)}{\partial z}\right),\ t > 0, \qquad (10)$$

$$EI\frac{\partial^3 w(L,t)}{\partial z^3} = M_p\frac{d^2}{dt^2}\left(\theta(t)L + w(L,t)\right),\ t > 0. \qquad (11)$$

[0032] La ecuación (7) es la ecuación diferencial parcial que describe la flexión. E es el módulo de elasticidad, I es el momento de inercia del área del conjunto de escalera, ρ es la densidad, S es el área de sección transversal (equivalente) del conjunto de escalera.

[0033] Las ecuaciones (8)-(9) son las condiciones límites correspondientes a un extremo de viga fijo al comienzo del conjunto de escalera en z = 0.

[0034] Las ecuaciones (10) y (11) son las condiciones límites correspondientes a la condición de transición entre la masa distribuida y concentrada, describiendo la ecuación (10) el equilibrio de los momentos y la ecuación (11) el equilibrio de las fuerzas.

[0035] Con la finalidad de simplificar, la siguiente variable, que describe el movimiento de los puntos individuales del conjunto de escalera en el área de inercia, se introduce:

$$V(z,t) \triangleq \theta(t)z + w(z,t)$$

[0036] Por tanto, el sistema de acuerdo con las ecuaciones 7-11 se puede describir como

$$EI\frac{\partial^4 V(z,t)}{\partial z^4} + \rho S\frac{\partial^2 V(z,t)}{\partial t^2} = 0, \tag{12}$$

$$V(0,t) = 0, \tag{13}$$

$$\frac{\partial V(0,t)}{\partial z} = \theta(t), \tag{14}$$

$$-EI\frac{\partial^2 V(l,t)}{\partial z^2} = J_p\frac{d^2}{dt^2}\left(\frac{\partial V(L,t)}{\partial z}\right), \tag{15}$$

$$EI\frac{\partial^3 V(l,t)}{\partial z^3} = M_p\frac{d^2 V(L,t)}{dt^2}. \tag{16}$$

[0037] Para simplificar, lo siguiente se introduce como valor de entrada:

$$u(t) \triangleq \theta(t) = \frac{\partial V(0,t)}{\partial z}. \tag{17}$$

[0038] La dinámica del sistema de accionamiento no se tiene en cuenta. A partir del valor de entrada anterior, el momento M(t) se puede calcular inmediatamente de acuerdo con el siguiente contexto:

$$M(t) = J_h\frac{d^2\theta(t)}{dt^2} - EI\frac{\partial^2 w(0,t)}{\partial z^2}, \tag{18}$$

J_h es el momento de inercia del engranaje de escalera (15).

[0039] La solución de acuerdo con las ecuaciones (12)-(16) se puede mostrar en la siguiente forma

$$V(z,t) \triangleq V_H(z,t) + V_I(z,t), \tag{19}$$

donde $V_I(z,t)$ es esa parte de la solución general V (z, t), que solo tiene que satisfacer las condiciones límites no homogéneas de acuerdo con las ecuaciones (13)-(16), mientras que $V_H(z,t)$ debe satisfacer tanto las condiciones límites homogéneas como la ecuación (12). Lo siguiente se selecciona como un enfoque para $V_I(z,t)$:

$$V_I(x,t) \triangleq f(z)u(t) \text{ donde}$$
$$f(z) \triangleq A + Bz + Cz^2 + Dz^3 + Ez^4 + Fz^5,\ z \in [0,L]$$

[0040] A partir de (13) y (14) se deduce:

$$A = 0,\ B = 1.$$

[0041] Para satisfacer las condiciones límites (15) y (16), el siguiente sistema de ecuaciones debe ser resuelto:

$$\begin{bmatrix} 2 & 6L & 12L^2 & 20L^3 \\ 2L & 3L^2 & 4L^3 & 5L^4 \\ 0 & 6 & 24L & 60L^2 \\ L^2 & L^3 & L^4 & L^5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C \\ D \\ E \\ F \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 0 \\ -L \end{bmatrix}. \quad (20)$$

[0042] La ecuación (20) tiene una clara solución:

$$C = -4L^{-1}, D = 6L^{-2}, E = -4L^{-3}, F = L^{-4}$$

[0043] El enfoque de solución utilizado en la ecuación (19) se utiliza ahora en las ecuaciones (12)-(16). Esto produce el siguiente sistema de ecuaciones:

$$EI\frac{\partial^4 V_H(z,t)}{\partial z^4} + \rho S\frac{\partial^2 V_H(z,t)}{\partial t^2} = = -\left[EI\frac{\partial^4 V_I(z,t)}{\partial z_1^4} + \rho S\frac{\partial^2 V_I(z,t)}{\partial t^2}\right], \quad (21)$$

$$V_H(0,t) = 0, \quad (22)$$

$$\frac{\partial V_H(0,t)}{\partial z} = 0, \quad (23)$$

$$\frac{\partial^2 V_H(L,t)}{\partial z^2} - \mu\frac{d^2}{dt^2}\left(\frac{\partial V_H(L,t)}{\partial z}\right) = 0, \quad (24)$$

$$\frac{\partial^3 V_H(L,t)}{\partial z^3} - \kappa\frac{d^2 V(L,t)}{dt^2} = 0. \quad (25)$$

[0044] La siguiente sustitución se utilizó para su simplificación:

$$\mu \triangleq -\frac{J_P}{EI}, \ \kappa \triangleq \frac{M_P}{EI}. \quad (26)$$

[0045] El siguiente enfoque se utiliza para la solución homogénea:

$$V_H(z,t) \triangleq Z(z)T(t). \quad (27)$$

[0046] Si (27) se utiliza en la parte homogénea de la ecuación. (21), se obtiene:

$$EI\, Z^{(IV)}(z)T(t) + \rho S Z(z)\ddot{T}(t) = 0. \quad (28)$$

[0047] En lo que sigue, se supone que un conjunto de funciones

$$\{Z_n(z)\}_{n\geq 1}, \{T_n(z)\}_{n\geq 1}$$

puede satisfacer la ecuación (28) y las condiciones límites de las ecuaciones (22)-(25). La ecuación (28) se puede escribir como

$$\frac{Z_n^{(IV)}(z)}{Z_n(z)} = -\eta \frac{\ddot{T}_n(t)}{T_n(t)} \triangleq \lambda_n, \qquad (29)$$

donde

$$\eta \triangleq \rho S/EI$$

donde λ_n es el valor intrínseco relacionado. De (29), se puede formular entonces la siguiente ecuación diferencial para las amplitudes de las funciones de tiempo $T_n(t)$.

$$\ddot{T}_n(t) + \omega_n^2 T_n(t) = 0, \qquad (30)$$

donde

$$\omega_n = \sqrt{\lambda_n/\eta}$$

es el valor intrínseco *λn*.
Con (29) y el uso del enfoque (27) en (22)-(25), se puede formular el siguiente problema del valor límite para las funciones intrínsecas dependientes de la ubicación $Z_n(z)$.

$$Z_n^{(IV)} - \lambda_n Z_n = 0, \qquad (31)$$

$$T_n Z_n(0) = 0, \qquad (32)$$

$$T_n Z_n'(0) = 0, \qquad (33)$$

$$T_n Z_n''(L) = \mu \ddot{T}_n Z_n'(L), \qquad (34)$$

$$T_n Z_n'''(L) = \kappa \ddot{T}_n Z_n(L). \qquad (35)$$

[0048] Con la ecuación (24) el resto de las funciones de tiempo $T_n(t)$ en (34)-(35) se pueden eliminar. De las condiciones límites (32)-(35), esto da:

$$Z_n(0) = 0, \qquad (36)$$

$$Z_n'(0) = 0, \qquad (37)$$

$$Z_n''(L) + \lambda_n \left(\frac{\mu}{\eta}\right) Z_n'(L) = 0, \qquad (38)$$

$$Z_n'''(L) + \lambda_n \left(\frac{\kappa}{\eta}\right) Z_n(L) = 0. \qquad (39)$$

[0049] La solución lleva a las siguientes relaciones. Dado que el polinomio característico (31) tiene las raíces,

$$\left\{-\sqrt[4]{\lambda_n},\ \sqrt[4]{\lambda_n},\ -j\sqrt[4]{\lambda_n},\ j\sqrt[4]{\lambda_n}\right\}$$

la solución general se puede escribir en la siguiente forma.

$$Z_n(z) = A_n \cosh\left(\sqrt[4]{\lambda_n} z\right) + B_n \operatorname{senh}\left(\sqrt[4]{\lambda_n} z\right) + \\ + C_n \cos\left(\sqrt[4]{\lambda_n} z\right) + D_n \operatorname{sen}\left(\sqrt[4]{\lambda_n} z\right). \quad (40)$$

[0050] Las condiciones límites (36)-(37) en el límite z = 0 proporcionan de inmediato

$$C_n = -A_n,\ D_n = -B_n$$

y

$$Z_n(z) = A_n \left[\cosh\left(\sqrt[4]{\lambda_n} z\right) - \cos\left(\sqrt[4]{\lambda_n} z\right)\right] + \\ + B_n \left[\operatorname{senh}\left(\sqrt[4]{\lambda_n} z\right) - \operatorname{sen}\left(\sqrt[4]{\lambda_n} z\right)\right] \quad (41)$$

Las condiciones límites (38)-(39) en el límite z = L conducen al siguiente sistema de ecuación algebraica lineal

$$A_n \sqrt{\lambda_n} (\cosh + \cos) + B_n \sqrt{\lambda_n} (\operatorname{senh} + \operatorname{sen}) + \\ + A_n \sqrt[4]{\lambda_n} \lambda_n \left(\frac{\mu}{\eta}\right) (\operatorname{senh} + \operatorname{sen}) + \\ + B_n \sqrt[4]{\lambda_n} \lambda_n \left(\frac{\mu}{\eta}\right) (\cosh - \cos) = 0, \\ A_n \left(\sqrt[4]{\lambda_n}\right)^3 (\operatorname{senh} - \operatorname{sen}) + B_n \left(\sqrt[4]{\lambda_n}\right)^3 (\cosh + \cos) + \\ + A_n \left(\frac{\kappa}{\eta}\right) \lambda_n (\cosh - \cos) + B_n \left(\frac{\kappa}{\eta}\right) \lambda_n (\operatorname{senh} - \operatorname{sen}) = 0. \quad (42)$$

[0051] Para simplificar, el argumento $\sqrt[4]{\lambda_n} L$ de las funciones trigonométricas e hiperbólicas se ha omitido. El sistema homogéneo (42) tiene soluciones no triviales si el determinante de los coeficientes es 0.

$$\underbrace{\left[\sqrt{\lambda_n}\,(\cosh+\cos)+\sqrt[4]{\lambda_n}\lambda_n\left(\frac{\mu}{\eta}\right)(\mathrm{senh}+\mathrm{sen})\right]}_{\triangleq A_{11}(\lambda_n)}\times$$
$$\times\left[\left(\sqrt[4]{\lambda_n}\right)^3(\cosh+\cos)+\left(\frac{\kappa}{\eta}\right)\lambda_n(\mathrm{senh}-\mathrm{sin})\right]-$$
$$-\underbrace{\left[\sqrt{\lambda_n}\,(\mathrm{senh}+\mathrm{sen})+\sqrt[4]{\lambda_n}\lambda_n\left(\frac{\mu}{\eta}\right)(\cosh-\cos)\right]}_{\triangleq A_{12}(\lambda_n)}\times$$
$$\times\left[\left(\sqrt[4]{\lambda_n}\right)^3(\mathrm{senh}-\mathrm{sen})+\left(\frac{\kappa}{\eta}\right)\lambda_n(\cosh-\cos)\right]=0$$

[0052] Esta función trascendente solo se puede resolver numéricamente en relación a los valores intrínsecos λ_n. (la Figura $\lambda = 0$ es una solución trivial al problema, y por lo tanto no es un valor intrínseco). La función intrínseca al intrínseco valor λ_n se puede describir ahora como

$$Z_n(z) = -\frac{A_{12}(\lambda_n)}{A_{11}(\lambda_n)}\left[\cosh\left(\sqrt[4]{\lambda_n}z\right)-\cos\left(\sqrt[4]{\lambda_n}z\right)\right]+$$
$$+\left[\mathrm{senh}\left(\sqrt[4]{\lambda_n}z\right)-\mathrm{sen}\left(\sqrt[4]{\lambda_n}z\right)\right].$$

[0053] En la Figura 5, las tres primeras funciones intrínsecas del problema se muestran a modo de ejemplo en una forma normalizada (Z_{i0}, i = 1, 2, 3). En base a estos resultados, se deriva después de la representación modal del sistema paramétrico distribuido. La parte de la solución que resuelve tanto las condiciones límites homogéneas como la ecuación (21) se puede describir ahora como

$$V_H(z,t)\triangleq\sum_{k=1}^{+\infty}V_{Hk}^*(t)Z_{k0}(z). \qquad (43)$$

[0054] Si (43) se inserta en la ecuación. (21), se obtiene

$$\sum_{k=1}^{+\infty}V_{Hk}^*(t)\lambda_k Z_{k0}(z)+\eta\sum_{k=1}^{+\infty}\frac{d^2V_{Hk}^*(t)}{dt^2}Z_{k0}(z)=$$
$$=-\sum_{k=1}^{+\infty}f_k^{(IV)*}Z_{k0}(z)u(t)-\eta\sum_{k=1}^{+\infty}f_k^*Z_{k0}(z)\frac{d^2u(t)}{dt^2}, \qquad (44)$$

$f_k^*, f_k^{*(IV)}$ son los coeficientes de

$$f(z)=\sum_{k=1}^{+\infty}f_k^*Z_{k0}(z),\quad f^{(IV)}(z)=\sum_{k=1}^{+\infty}f_k^{(IV)*}Z_{k0}(z).$$

Con (44), todos los modos de tiempo (amplitudes de las funciones intrínsecas) en el intervalo de frecuencias se pueden mostrar con la ayuda de la transformada de Laplace en la siguiente forma.

$$\hat{V}_{Hk}^{*}(s) = -\frac{f_k^{*}s^2 + \frac{1}{\eta}f_k^{(IV)*}}{s^2+\omega_k^2}\hat{u}(s) + \\ + \frac{s}{s^2+\omega_k^2}V_{Hk}^{*}(0) + \frac{1}{s^2+\omega_k^2}\dot{V}_{Hk}^{*}(0). \qquad (45)$$

[0055] En el intervalo de frecuencia se puede obtener, por tanto, con (19)

$$\hat{V}(z,s) = \hat{V}_H(z,s) + \hat{V}_I(z,s) = \sum_{k=1}^{+\infty}\hat{V}_{Hk}^{*}(s)Z_{k0}(z) + \\ + \left(z - 4L^{-1}z^2 + 6L^{-2}z^3 - 4L^{-3}z^4 + L^{-4}z^5\right)\hat{u}(s). \qquad (46)$$

[0056] A partir de aquí, N modos (es decir, los primeros N sumandos de las filas infinitas (45)-(46)) se pueden utilizar para fines de simulación. Para el siguiente diseño de control, la representación modal se selecciona de la siguiente manera:

$$V_k^{*}(t) = V_{Hk}^{*}(t) + V_{Ik}^{*}(t),\ k \geq 1, \qquad (47)$$

donde

$$V_{Ik}^{*}(t) = f_k^{*}u(t)$$

se determina a partir de

$$V_I(z,t) = f(z)u(t)$$

[0057] Con (44) y (47) se obtiene después

$$\frac{d^2V_k^{*}(t)}{dt^2} + \omega_k^2V_k^{*}(t) = \left(\omega_k^2f_k^{*} - \frac{f_k^{(IV)*}}{\eta}\right)u(t).$$

[0058] Para los fines del ejemplo, se consideran solo los dos primeros modos. Al sumar los valores de estado

$$x_1(t) \triangleq V_1^{*}(t),\ x_2(t) \triangleq \dot{x}_1(t) = \dot{V}_1^{*}(t), \\ x_3(t) \triangleq V_2^{*}(t),\ x_4(t) \triangleq \dot{x}_3(t) = \dot{V}_2^{*}(t).$$

se muestra la representación del espacio de estado

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\omega_1^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -\omega_2^2 & 0 \end{bmatrix}}_{\triangleq A} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 \\ \omega_1^2 f_1^* - \frac{f_1^{(IV)*}}{\eta} \\ 0 \\ \omega_2^2 f_2^* - \frac{f_2^{(IV)*}}{\eta} \end{bmatrix}}_{\triangleq B} u(t). \tag{48}$$

[0059] En base a esta representación, el diseño del controlador se realiza ahora. Para este fin, se tiene en cuenta el punto de funcionamiento

$$V_0(z) \equiv 0, \forall z \in [0, L]$$

[0060] Para la implementación técnica, que se ha demostrado ser suficiente para el diseño del controlador considere solo los dos primeros modos del sistema, dado que la frecuencia de límite del sistema hidráulico se sitúa en aproximadamente 3-4 Hz, aunque el tercer modo es aproximadamente 6,5 Hz. Por tanto, se ignoran los modos superiores. Para ahora estabilizar el sistema (48) con 2 pares de polos conjugados complejos con una retroalimentación de estado, que se encuentran en el eje imaginario, ya que no hay amortiguación en el modelo presentado, todos los valores de estado x_1 a x_4 se tiene que medir. Para este fin, los valores medidos están disponibles a partir de un sensor de banda de medición de la expansión en la parte inferior de la escalera, y un giroscopio en la parte superior de la escalera. La idea ahora es utilizar estos valores de los sensores en una estructura del observador, que, además, reúne a (es decir, fusiona) ambos valores medidos, para estimar qué componentes de amplitud conforman los modos de la oscilación. El sensor de banda de medición de la expansión en la posición de instalación z = z1 proporciona un valor de flexión que se puede describir en la presente notación de la siguiente manera:

$$m_1(t) = \frac{\partial^2 w(z_1, t)}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 V(z_1, t)}{\partial z^2}$$

[0061] El valor medido del giroscopio (instalado en el punto z = z2) alcanza

$$m_2(t) = \frac{\partial^2 V(z_2, t)}{\partial z \partial t}.$$

[0062] Si solo se consideran 2 modos, ambos valores medidos se pueden expresar a través de los valores de estado de la siguiente manera:

$$m_1(t) = \frac{\partial^2 V(z_1, t)}{\partial z^2} = \hat{x}_1(t) Z_{10}''(z_1) + \hat{x}_3(t) Z_{20}''(z_1),$$
$$m_2(t) = \frac{\partial^2 V(z_2, t)}{\partial z \partial t} = \hat{x}_2(t) Z_{10}'(z_2) + \hat{x}_4(t) Z_{20}'(z_2).$$

[0063] Para reconstruir todos los valores de estado, se requieren otras 2 señales, que se obtienen por integración o diferenciación real.

$$\frac{dm_1(t)}{dt} = \frac{\partial^3 V(z_1,t)}{\partial z^2 \partial t} = \hat{x}_2(t) Z''_{10}(z_1) + \hat{x}_4(t) Z''_{20}(z_1),$$

$$\int_0^t m_2(\tau) d\tau = \frac{\partial V(z_2,t)}{\partial z} = \hat{x}_1(t) Z'_{10}(z_2) + \hat{x}_3(t) Z'_{20}(z_2).$$

[0064] La estimación de las amplitudes de los modos se pueden obtener después a partir de la solución para el siguiente sistema de ecuación algebraica.

$$\begin{bmatrix} Z''_{10}(z_1) & 0 & Z''_{20}(z_1) & 0 \\ 0 & Z'_{10}(z_2) & 0 & Z'_{20}(z_2) \\ 0 & Z''_{10}(z_1) & 0 & Z''_{20}(z_1) \\ Z'_{10}(z_2) & 0 & Z'_{20}(z_2) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_1(t) \\ \hat{x}_2(t) \\ \hat{x}_3(t) \\ \hat{x}_4(t) \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} m_1(t) \\ m_2(t) \\ dm_1(t)/dt \\ \int_0^t m_2(\tau) d\tau \end{bmatrix}. \qquad (49)$$

[0065] Después de invertir la matriz con las funciones intrínsecas Z, se obtiene una relación funcional directa entre los valores medidos en la banda de medición de la expansión y el giroscopio, y las amplitudes de los dos primeros modos. Uno puede entonces ir directamente al diseño de un controlador de asignación de polos.

$$u(t) = K \begin{bmatrix} \hat{x}_1(t) & \hat{x}_2(t) & \hat{x}_3(t) & \hat{x}_4(t) \end{bmatrix}^T,$$

donde la matriz de amplitud se calcula a partir del determinante de

$$|A - BK|$$

mediante la asignación de las posiciones cero de la ecuación característica. Las Figuras 6a y 6b muestran, a modo de ejemplo, las características de amortiguación del control. En la Figura 6a, la flexión b (L, t) se muestra a lo largo del tiempo, la Figura 6b muestra el valor del actuador. En el caso que se muestra aquí, el control se enciende después de diez segundos.

[0066] La estructura alternativa mostrada en la Figura 4 se explicará a continuación, donde, en un observador en base al modelo, la oscilación fundamental se extrae de las señales medidas. Este bloque se describirá ahora en más detalle a continuación.

[0067] El observador del valor de interferencia para que los datos del sensor que se fusionan de la medición del giroscopio en la fijación de la jaula y la banda de medición de la expansión en el punto de fijación de la escalera, debe separar la oscilación fundamental de la oscilación de flexión de sus armónicos dominantes con el fin de excluir en la medida de lo posible, ninguna amplificación de los armónicos en la retroalimentación.

[0068] Para el observador, las ecuaciones diferenciales de oscilación simple se utilizan para la ecuación del modelo. Dado que la señal del giroscopio está cubierta por una compensación sustancial, esta influencia se ve compensada por un modelo de interferencia del integrador en las ecuaciones del modelo.

$$\begin{aligned} K_0\omega_0^2\ddot{\varphi}_A(t)+\ddot{v}_{0z}(t)+2D_0\omega_0\dot{v}_{0z}(t)+\omega_0^2 v_{0z}=0 \quad &\ldots \text{ Grundwelle} \\ K_1\omega_1^2\ddot{\varphi}_A(t)+\ddot{v}_{1z}(t)+2D_1\omega_1\dot{v}_{1z}(t)+\omega_1^2 v_{1z}=0 \quad &\ldots \text{ 1. Oberwelle} \\ \dddot{\overline{v}}_z=0 \quad &\ldots \text{ triviale Dynamik des Offset der Gyroskopmessung } \left(\dot{\varphi}_A(t,L)\square\ \dot{v}_z\right) \end{aligned} \tag{50}$$

[0069] (Nota del Traductor:. Grundwelle = "Oscilación fundamental", 1. Oberwelle = "Primera oscilación armónica", triviale Dynamik des Offset der Gyroskopmessung = "Dinámica trivial de compensación de la medición del giroscopio")

[0070] Los parámetros ω_i, D_i y K_i se determinan mediante el análisis experimental del proceso. En la representación de estado, esto corresponde después a:

$$\begin{aligned} \dot{\underline{x}}(t)&=\mathbf{A}\underline{x}(t)+\mathbf{b}u(t) \\ y&=\mathbf{C}\underline{x}(t) \end{aligned}, \text{con } \underline{x}(t)=\begin{bmatrix} v_{0z}(t) \\ \dot{v}_{0z}(t) \\ v_{1z}(t) \\ \dot{v}_{1z}(t) \\ \overline{v}(t) \end{bmatrix} \text{ y } \quad u(t)=\ddot{\varphi}_A$$

con

$$\dot{\underline{x}}(t)=\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -\omega_0^2 & -2D_0\omega_0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -\omega_1^2 & -2D_1\omega_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}\underline{x}(t)+\begin{bmatrix} 0 \\ -K_0\omega_0^2 \\ 0 \\ -K_1\omega_1^2 \\ 0 \end{bmatrix}u(t) \tag{51}$$

$$y_m(t)=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}\underline{x}(t)\square\begin{bmatrix} \text{DMS} \\ \text{Gyroskop} \end{bmatrix}$$

[0071] La primera componente del vector de salida corresponde a la señal DMS, la segunda componente a la medición del giroscopio.

[0072] Para el diseño del observador se puede seleccionar, por ejemplo, un método en base a la representación como forma normal del observador. El aspecto ventajoso es que las ecuaciones de diseño simple se pueden derivar después para la matriz de retroalimentación del observador $\underline{H}$ respecto a los polos que se tienen que asignar $p_i, i \in \wedge [1,5]$. Después de la transformación de la forma normal de observador (2a forma) para los sistemas multivariables, la ecuación 51 se convierte en

$$\mathbf{A}_{\text{BNF 2.Art}} = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_0^2 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -2D_0\omega_0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \left(1-4D_0^2\right)\omega_0^4 + 4D_0D_1\omega_0^3\omega_1 - \omega_0^2\omega_1^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \left(4D_0 - 8D_0^3\right)\omega_0^3 + \left(8D_0^2D_1\omega_1 - 2D_1\omega_1\right)\omega_0^2 - 2D_0\omega_0\omega_1^2 & 1 & 0 & -\omega_1^2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -2D_1\omega_1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{b}_{\text{BNF 2.Art}} = \begin{bmatrix} -K_0\omega_0^2 \\ 0 \\ -\left(\omega_1^2 - \omega_0^2 + 4D_0^2\omega_0 - 4D_0D_1\omega_0\omega_1\right)K_0\omega_0^2 \\ 2\left(D_0\omega_0 - D_1\omega_1\right)K_0\omega_0^2 \\ -K_0\omega_0^2 - K_1\omega_1^2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C}_{\text{BNF 2.Art}} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \mathbf{H}_{\text{BNF 2.Art}} = \begin{bmatrix} -\omega_0 + p_1p_2 & 0 \\ -2D_0\omega_0 - p_1 - p_2 & 0 \\ \left(1-4D_0^2\right)\omega_0^4 + 4D_0D_1\omega_0^3\omega_1 - \omega_0^2\omega_1^2 & -p_3p_4p_5 \\ \left(4D_0 - 8D_0^3\right)\omega_0^3 + \left(8D_0^2D_1\omega_1 - 2D_1\omega_1\right)\omega_0^2 - 2D_0\omega_0\omega_1^2 & -\omega_1^2 + p_3p_5 + p_3p_4 + p_4p_5 \\ 0 & -2D_1\omega_1 - p_3 - p_4 - p_5 \end{bmatrix} \quad (52$$

[0073] Por lo tanto, el observador está en una posición de generar, utilizando las señales medidas afectadas por la interferencia (por oscilación armónica, etc.) de la banda de medición de la expansión y un giroscopio, una señal estimada reconstruida para la oscilación fundamental, que tiene a su vez un efecto de amortiguación, a través de la retroalimentación, en las oscilaciones de la escalera.

[0074] Como observación general, se debe tener en cuenta que todos los enfoques presentados se pueden transferir en forma analógica a la dirección de giro de la escalera.

REIVINDICACIONES

1. Método para controlar el accionamiento de una escalera de placa giratoria o de una plataforma de mástil telescópico con el fin de suprimir las oscilaciones en las partes de la escalera o en las partes del mástil telescópico, teniendo una parte inferior y una parte superior y comprendiendo

- unidades de accionamiento de las partes de escalera o de las partes del mástil telescópico, y
- sensores de bandas de medición de la expansión para detectar el estado de flexión del conjunto de escalera o del mástil telescópico que se fijan a una parte inferior del conjunto de escalera o mástil telescópico
- un controlador que implementa un control del movimiento de las partes de escalera o de las partes del mástil telescópico, **caracterizado por**
- un giroscopio fijado a una parte superior de la escalera de placa giratoria o mástil telescópico para medir la velocidad angular en diferentes direcciones espaciales

comprendiendo el método las etapas de:

- realizar un modelo dinámico que simula una distribución de masa del conjunto de escalera o mástil telescópico, en base a ecuaciones diferenciales, para calcular los valores de control ideales para dichas unidades de accionamiento para el movimiento esencialmente libre de oscilación de la escalera o mástil telescópico, teniendo todos los valores de estado (x1 – x4) medibles;
- obtener los valores de las señales de dicho giroscopio y de dichos sensores de bandas de medición de la expansión,
- utilizar los valores de los sensores de estructura del observador, obtenidos por dicho modelo dinámico, que adicionalmente reúne ambos valores medidos, para estimar qué componentes de amplitud conforman los modos de la oscilación de la escalera o del mástil telescópico,
- obtener una relación funcional directa entre los valores medidos en las bandas de medición de la expansión y en el giroscopio, y las amplitudes de los dos primeros modos que conforman una oscilación para estabilizar el sistema.

2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que un sistema paramétrico distribuido está representado por funciones intrínsecas.

3. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que, dicho observador se obtiene mediante la inversión de una matriz (Z) de dichas funciones intrínsecas.

4. Escalera de placa giratoria o plataforma de mástil telescópico, teniendo una parte inferior y una parte superior y comprendiendo

- unidades de accionamiento de las partes de escalera o de las partes del mástil telescópico,
- un giroscopio fijado a una parte superior de la escalera de placa giratoria o mástil telescópico para medir la velocidad angular en diferentes direcciones espaciales y
- sensores de bandas de medición de la expansión para detectar el estado de flexión del conjunto de escalera o del mástil telescópico que se fijan a una parte inferior del conjunto de escalera o mástil telescópico
- un controlador que implementa un control del movimiento de las partes de escalera o de las partes del mástil telescópico,

caracterizado por que dicho controlador implementa un método de control para accionar la escalera de placa giratoria, plataforma de mástil telescópico, de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

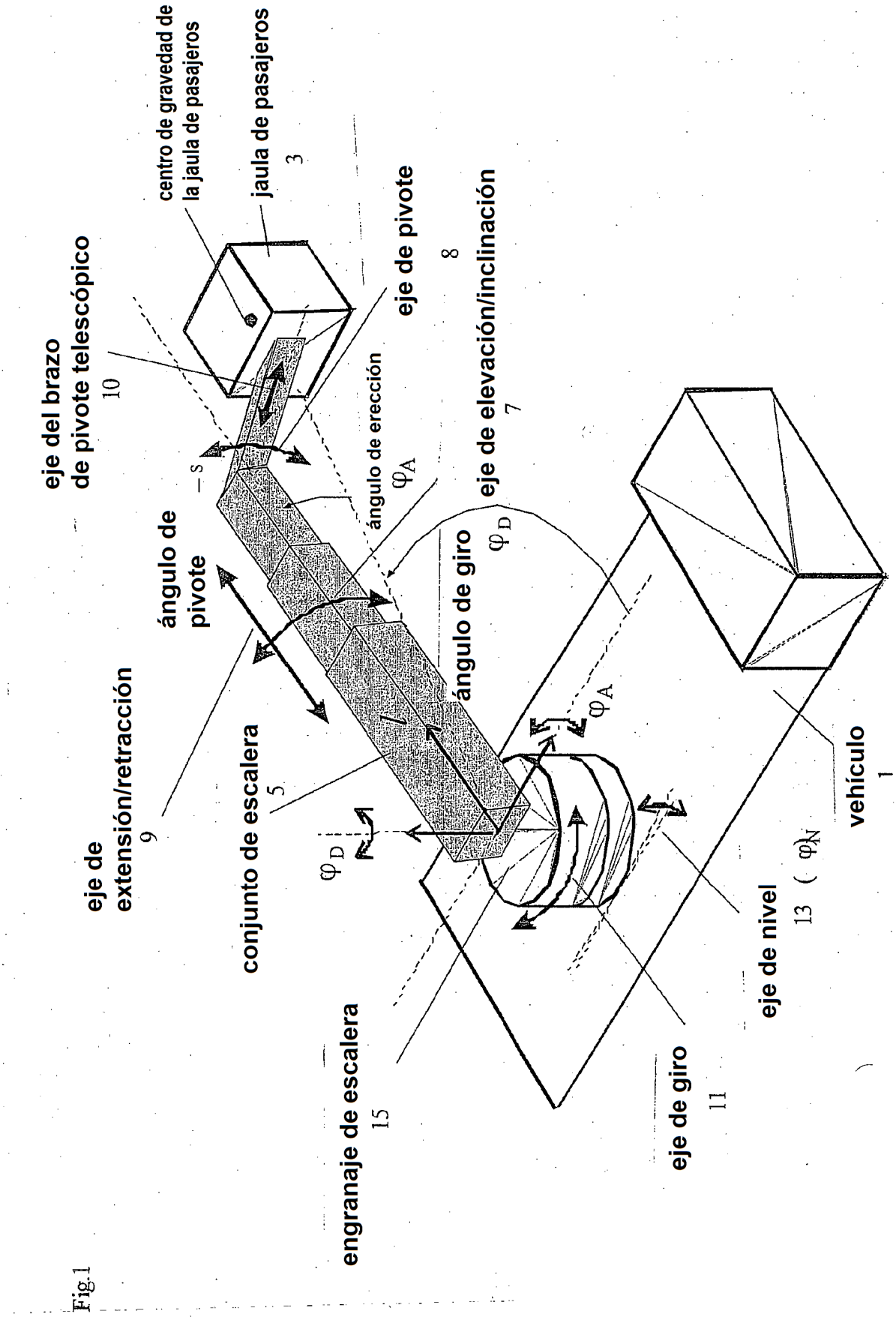
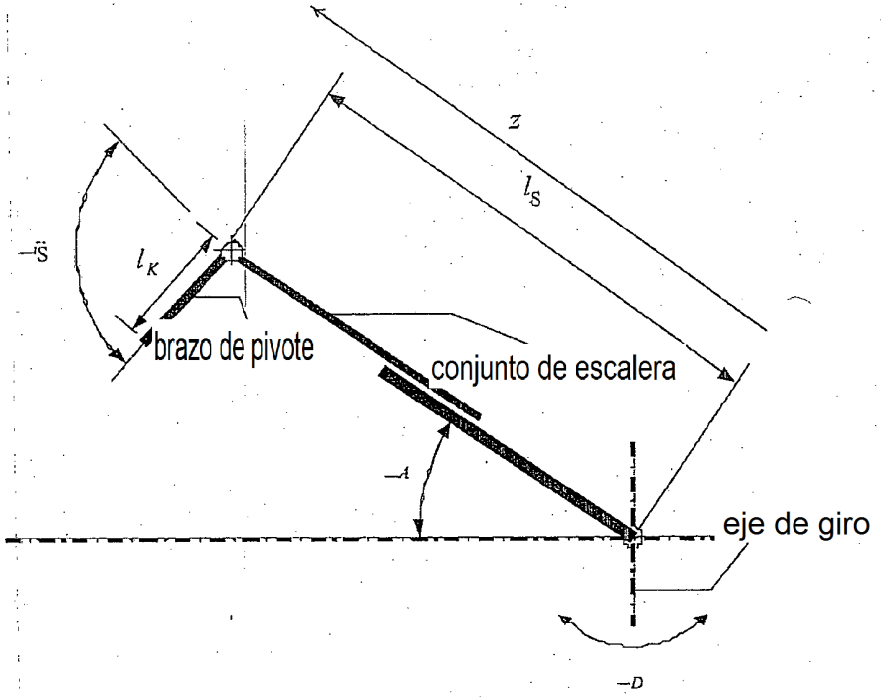

eje del brazo de pivote telescópico
10
centro de gravedad de la jaula de pasajeros
jaula de pasajeros
3
eje de pivote
8
ángulo de erección
φ_A
eje de elevación/inclinación
7
ángulo de giro
φ_D
ángulo de pivote
s
eje de extensión/retracción
9
conjunto de escalera
5
l
φ_D
φ_A
vehículo
1
engranaje de escalera
15
eje de giro
11
eje de nivel
13 (φ_N

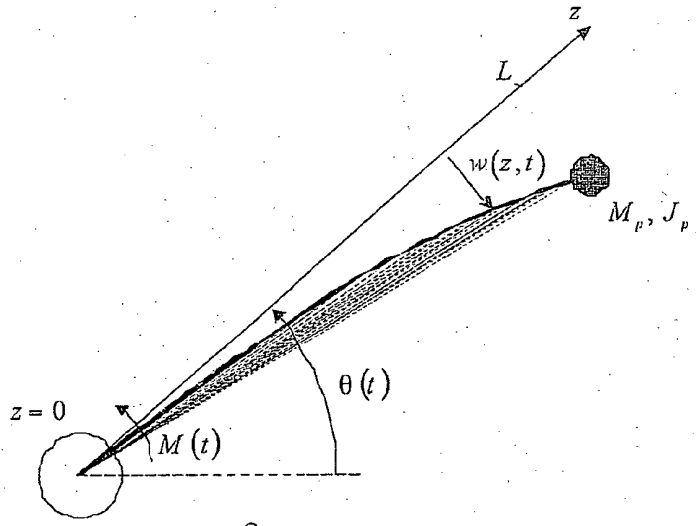
Fig.1

Fig.2

GRADOS DE LIBERTAD DEL SISTEMA RÍGIDO



GRADOS ELÁSTICOS DE LIBERTAD EN EL EJEMPLO DE UN MOVIMIENTO DE GIRO



$\varphi_K = 0$

$\theta = \varphi_D$

w(z,t) Flexión en el plano del movimiento de giro
M_p masa de la jaula de pasajeros
J_p momento de inercia de la jaula de pasajeros
L longitud de extensión real de la escalera
z Dirección de la extracción del conjunto de escalera

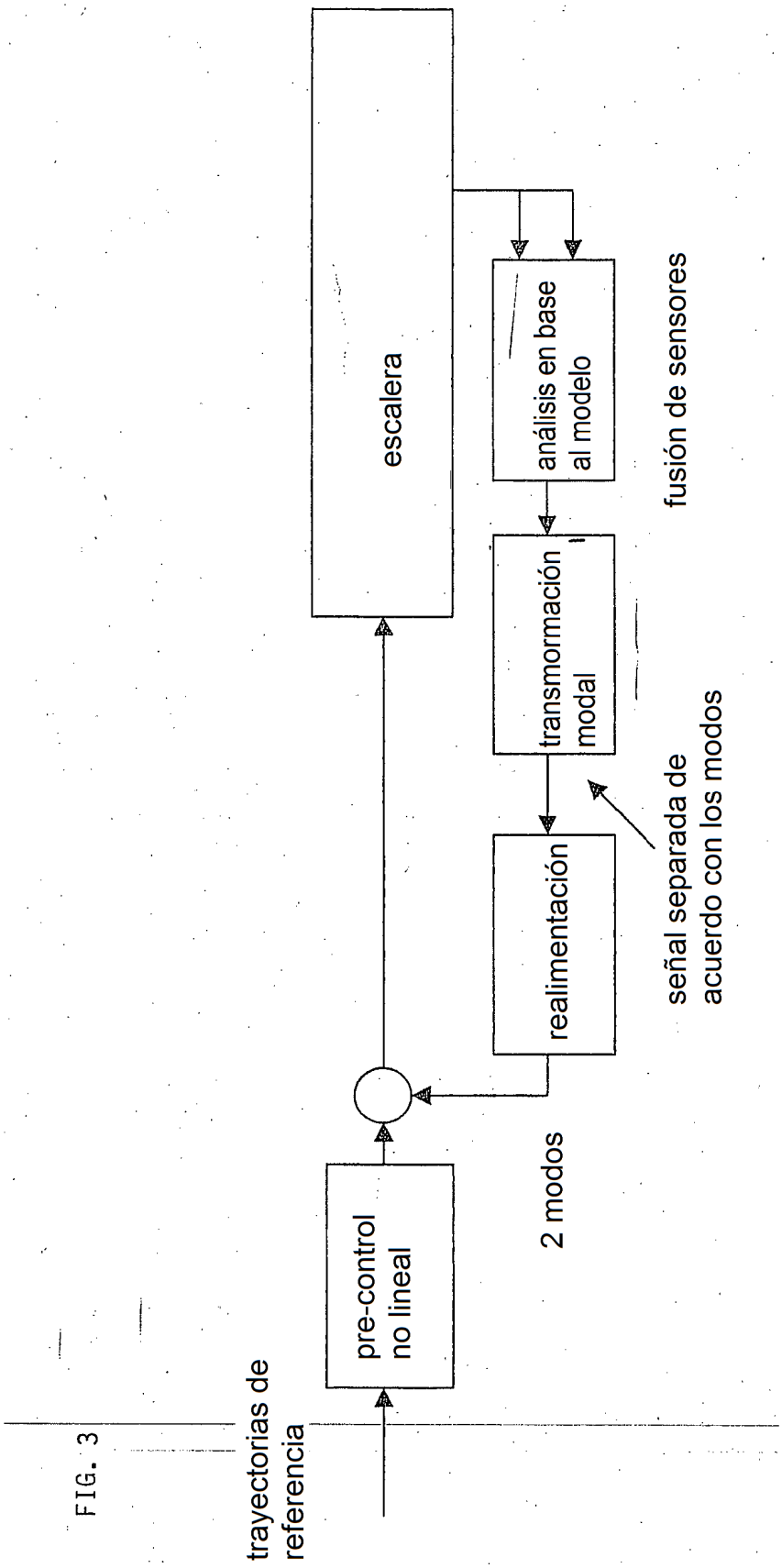

escalera
análisis en base al modelo
fusión de sensores
transmormación modal
realimentación
señal separada de acuerdo con los modos
2 modos
pre-control no lineal
trayectorias de referencia

FIG. 3

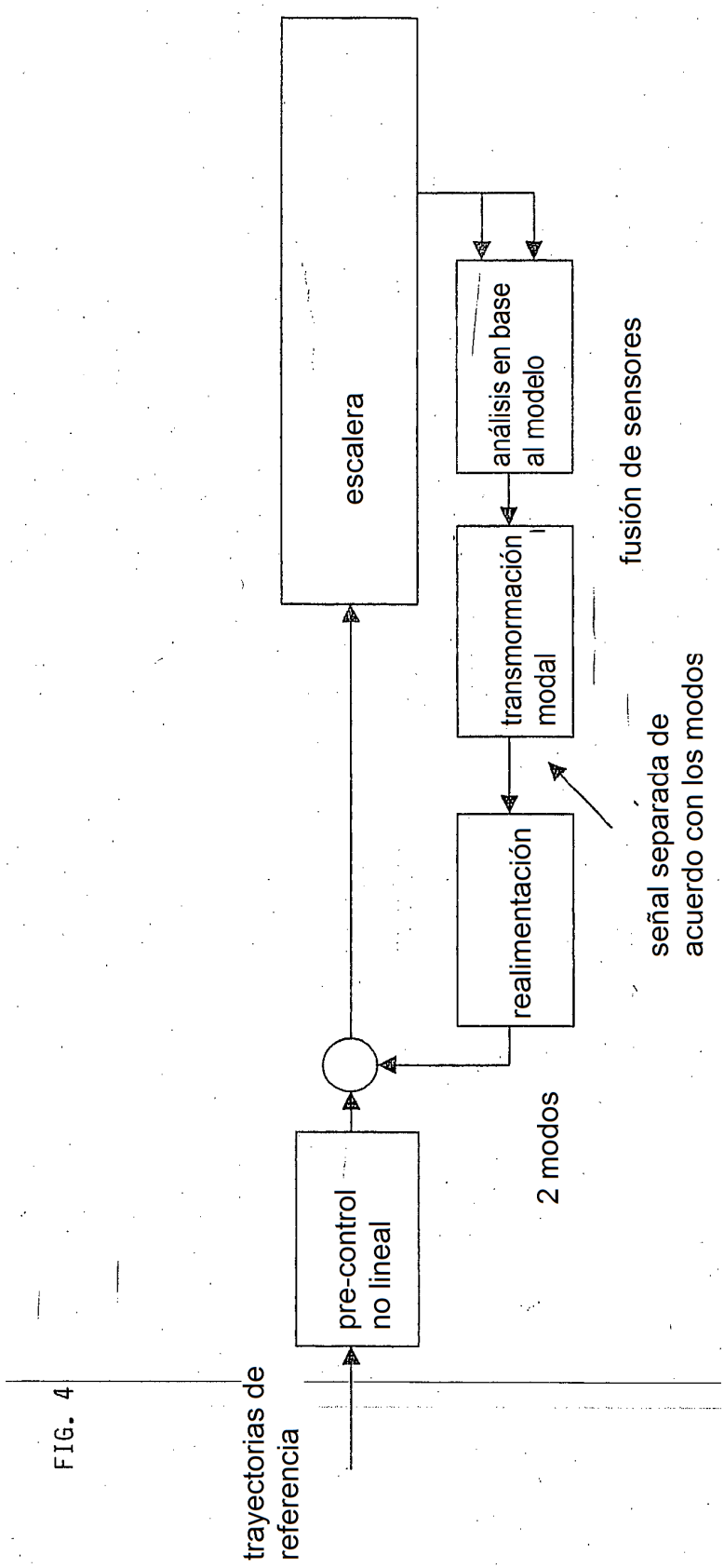

escalera
análisis en base al modelo
transmormación modal
realimentación
pre-control no lineal
fusión de sensores
señal separada de acuerdo con los modos
2 modos
trayectorias de referencia

FIG. 4

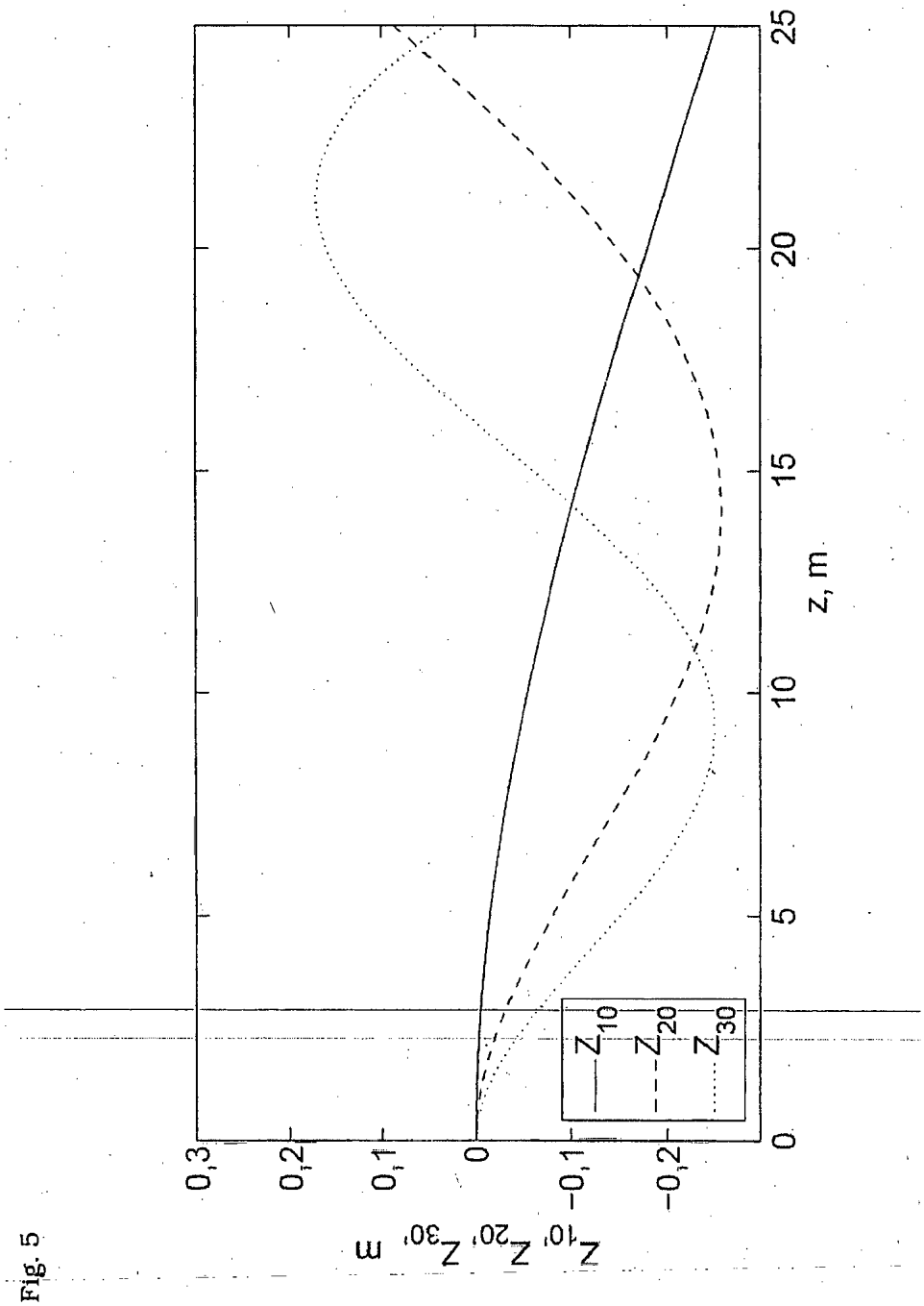


Fig. 5

Fig. 6a

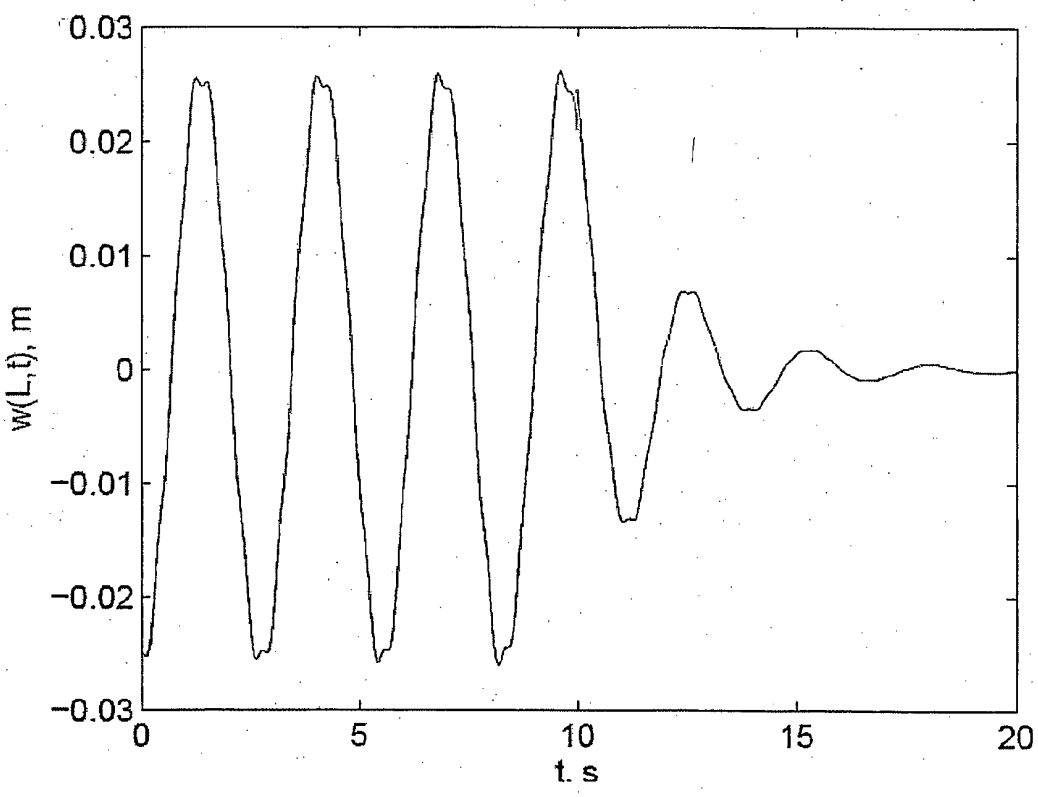
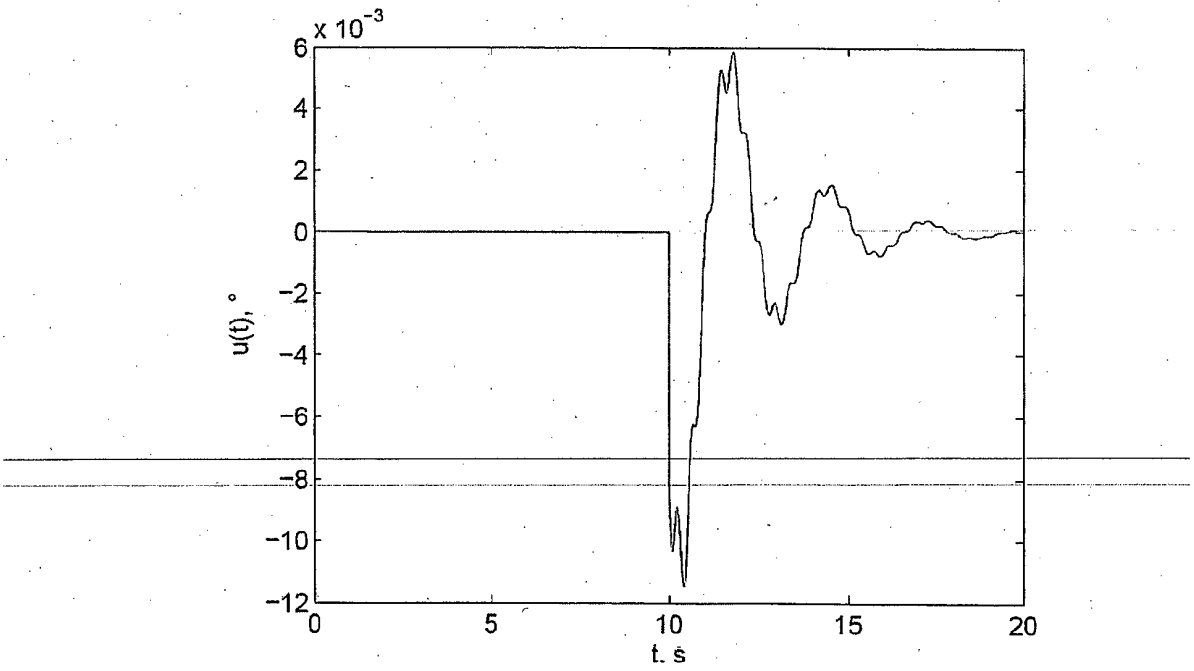

0.03
0.02
0.01
0
−0.01
−0.02
−0.03
w(L,t), m
0
5
10
15
20
t. s

Fig. 6b


x 10^-3
6
4
2
0
−2
−4
−6
−8
−10
−12
u(t), °
0
5
10
15
20
t. s