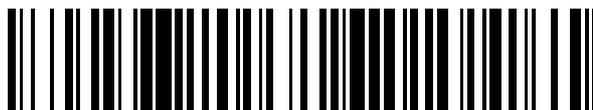


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 570 329**

51 Int. Cl.:

A63B 21/005 (2006.01)
A63B 22/02 (2006.01)
A63B 69/00 (2006.01)
A63B 69/06 (2006.01)
A63B 69/16 (2006.01)
A63B 24/00 (2006.01)
A63B 23/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.10.2012 E 12794381 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.02.2016 EP 2771079**

54 Título: **Máquina de ejercicio**

30 Prioridad:

27.10.2011 FR 1159739

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

17.05.2016

73 Titular/es:

ERACLES - TECHNOLOGY (100.0%)
40 rue de Paris
60200 Compiègne, FR

72 Inventor/es:

VAUQUELIN, AURÉLIEN y
VANNICATTE, ARNAUD

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 570 329 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

Máquina de ejercicio

5 La invención se refiere al campo de las máquinas de ejercicio. De manera particular, la invención se refiere al campo de las máquinas con motorización eléctrica diseñadas para desarrollar o recuperar la musculatura de un usuario y que permiten, en particular, el entrenamiento deportivo o la reeducación de los músculos de un usuario.

Entre las máquinas de ejercicio muscular, existen en particular las máquinas de pesas y las máquinas de inercia.

Las máquinas de pesas funcionan según el principio de masas de hierro fundido o de otro material que un usuario desplaza al proporcionar un esfuerzo para contrarrestar el peso de las masas de hierro fundido. Estas máquinas son, en particular, las prensas, las barras libres, los aparatos de carga guiada, etc.

10 Las máquinas de inercia funcionan de manera diferente. Estas consisten, por ejemplo, en poner en movimiento un disco de hierro fundido alrededor de un eje de rotación. El usuario debe, por lo tanto, proporcionar un esfuerzo adecuado para vencer la inercia de la máquina. Algunas máquinas funcionan con el principio de poner en movimiento un fluido con un sistema de aletas. Aunque el fluido en movimiento presenta una inercia, en estas máquinas el usuario debe vencer principalmente la fricción viscosa inducida por los fluidos. Otras máquinas utilizan
15 el principio del sistema con corriente de Foucault para generar estas fricciones viscosas. Estas máquinas que producen fricciones viscosas son, en particular, las máquinas de tipo remo o la bicicleta estática.

El documento WO2011/093434 describe un dispositivo de ejercicio como se ha descrito en el preámbulo de la reivindicación 1.

20 Según una forma de realización, la invención proporciona un dispositivo de ejercicio que consta de:
un elemento de sollicitación destinado a desplazarse por la fuerza de un usuario;
un actuador eléctrico que consta de una parte móvil, estando el elemento de sollicitación unido a la parte móvil y estando el elemento de sollicitación adaptado para desplazar la parte móvil;
un ordenador adaptado para generar una señal de control del actuador eléctrico; y
25 un sensor de aceleración acoplado a la parte móvil para medir la aceleración de la parte móvil y para transmitir la aceleración medida al ordenador;
estando el actuador eléctrico adaptado para ejercer una fuerza sobre el elemento de sollicitación por medio de la parte móvil como respuesta a la señal de control;
en el que el ordenador está adaptado para generar la señal de control en función de la aceleración medida de modo que la fuerza ejercida por el actuador eléctrico consta de una contribución de inercia artificial sustancialmente
30 proporcional a la aceleración medida por el sensor de aceleración.

Según una forma de realización, el ordenador está adaptado para generar la señal de control en función de la aceleración medida y un coeficiente de proporcionalidad, y el ordenador está adaptado para hacer que varíe el coeficiente de proporcionalidad en función de al menos un parámetro seleccionado entre la posición, la velocidad y la aceleración de la parte móvil.

35 Según una forma de realización, el ordenador está adaptado para generar la señal de control de modo que la fuerza ejercida por el actuador eléctrico conste de una contribución de carga adicional que presenta un sentido predeterminado.

40 Según una forma de realización, el ordenador está adaptado para generar la señal de control de modo que la contribución de inercia artificial esté orientada en el mismo sentido que la contribución de sentido predeterminado cuando la aceleración medida es en sentido opuesto a la contribución de sentido predeterminado.

Según una forma de realización, el ordenador está adaptado para generar la señal de control de modo que se anule la contribución de inercia artificial cuando la aceleración medida es en el mismo sentido que la contribución de sentido predeterminada del actuador eléctrico.

45 Según una forma de realización, la unión entre el elemento de sollicitación y la parte móvil consta de un reductor de velocidad para desmultiplicar la fuerza del motor. Por lo general, dicho reductor genera una inercia real suplementaria para el usuario que acciona el elemento de sollicitación. Según una forma de realización, la contribución de inercia artificial ejercida por el actuador eléctrico puede compensar toda o parte de la inercia real suplementaria generada por el reductor.

50 Según una forma de realización, el dispositivo consta de un sensor de velocidad adaptado para medir la velocidad de la parte móvil y el ordenador está adaptado para generar la señal de control de modo que la fuerza ejercida por el actuador eléctrico conste de una contribución de fricción viscosa sustancialmente proporcional a la velocidad medida por el sensor de velocidad.

Según una forma de realización, el actuador eléctrico es un motor lineal.

Según una forma de realización, el actuador eléctrico es un motor rotativo en el que la parte móvil consta de un rotor del motor rotativo.

Según una forma de realización, el sensor de aceleración consta de:

- 5 un codificador de posición acoplado a la parte móvil para medir la posición de la parte móvil, generando el codificador de posición una señal de posición;
unos elementos de derivación adaptados para derivar la señal de posición para determinar la aceleración de la parte móvil.

Según una forma de realización, el dispositivo de ejercicio se selecciona entre el grupo que comprende los remos, las bicicletas estáticas, las barras de levantamiento y los aparatos de carga guiada.

- 10 Según una forma de realización, la parte móvil consta de un árbol del motor montado en rotación, el árbol del motor está acoplado a un reductor, una polea está acoplada al reductor, un cable está fijado sobre la polea en un primer extremo del cable, el cable está fijado sobre el elemento de manipulación en un segundo extremo del cable y el cable está adaptado para enrollarse sobre la polea.

- 15 Según una forma de realización, el dispositivo de ejercicio consta de una interfaz hombre-máquina que permite que un usuario ajuste un coeficiente de proporcionalidad entre la aceleración medida y la contribución de inercia artificial calculada.

- 20 Según una forma de realización, el ordenador está adaptado para calcular la fuerza que hay que ejercer de modo que la fuerza que tiene que ejercer el actuador eléctrico conste de una contribución de carga adicional que presenta un sentido predeterminado, permitiendo la interfaz hombre-máquina que un usuario ajuste la contribución de carga adicional con independencia del coeficiente de proporcionalidad.

Según una forma de realización, la interfaz hombre-máquina permite que un usuario ajuste la contribución de carga adicional en un valor nulo.

- 25 Según una forma de realización, el elemento de solicitud se puede desplazar en una dirección vertical y el ordenador está adaptado para calcular la fuerza que hay que ejercer en ausencia de fuerza ejercida por el usuario de modo que la fuerza que tiene que ejercer el actuador eléctrico conste de una contribución de carga por defecto que compensa el propio peso del elemento de solicitud sin causar el desplazamiento espontáneo del elemento de solicitud en ausencia de fuerza ejercida por el usuario.

Según una forma de realización, la invención proporciona también un procedimiento de control de un dispositivo de ejercicio que comprende:

- 30 medir la aceleración de una parte móvil de un motor eléctrico como respuesta a la fuerza de un usuario ejercida sobre un elemento de solicitud unido a la parte móvil;
generar una señal de control en función de la aceleración medida; y
35 controlar el actuador eléctrico con la señal de control de modo que la fuerza ejercida por el actuador eléctrico sobre el elemento de solicitud por medio de la parte móvil conste de una contribución de inercia artificial sustancialmente proporcional a la aceleración medida.

Una idea en la que se basa la invención es la de simular en una máquina de ejercicio, durante la utilización de la máquina por un usuario, una inercia diferente de la inercia real de la máquina de ejercicio utilizando un actuador eléctrico.

- 40 Una idea en la que se basa la invención es la de diseñar una máquina que permita hacer que el peso y la inercia varíen de forma independiente entre sí.

Algunos aspectos de la invención parten de la idea de simular, en la máquina de ejercicio, un peso suplementario utilizando el actuador eléctrico.

Algunos aspectos de la invención parten de la idea de simular, en la máquina de ejercicio, una fricción suplementaria utilizando el actuador eléctrico.

- 45 Algunos aspectos de la invención parten de la constatación de que combinar los ejercicios de tipo "inercia" característicos de las máquinas de inercia y los ejercicios de tipo "pesa" característicos de las máquinas de pesas en una única máquina permite una importante ganancia de espacio y una inversión menos cara.

- 50 Algunos aspectos de la invención parten de la idea de generar unas fuerzas de inercia suplementarias durante algunas fases de un ejercicio muscular realizado por el usuario y anular estas fuerzas de inercia en las demás fases del ejercicio muscular.

Algunos aspectos de la invención parten de la idea de generar unas fuerzas de inercia sin carga fija para crear unas sollicitaciones musculares específicas para la inversión del movimiento de una masa lanzada en una trayectoria

sustancialmente horizontal, en particular la inversión del movimiento de un corredor.

Se entenderá mejor la invención y otros objetivos, detalles, características y ventajas de esta se apreciarán con más claridad tras la descripción que viene a continuación de varias formas particulares de realización de la invención, aportadas únicamente a modo ilustrativo y no limitativo, en referencia a los dibujos adjuntos.

5 En estos dibujos:

- la figura 1 es una representación esquemática de un dispositivo de ejercicio que consta de un motor.
- La figura 2 es una representación esquemática del sistema de control del motor representado en la figura 1.
- La figura 3 es un gráfico de la posición y de la aceleración en función del tiempo de la empuñadura descrita en la figura 1 que corresponde a una manipulación por el usuario.
- 10 • La figura 4 es un gráfico de la fuerza ejercida por el motor durante una manipulación del dispositivo de la figura 7.
- La figura 5 es un gráfico de la fuerza ejercida por el motor durante la manipulación del dispositivo conforme a la figura 3 que corresponde a un primer tipo de ejercicio.
- La figura 6 es un gráfico de la fuerza ejercida por el motor durante la manipulación del dispositivo conforme a la figura 3 que corresponde a un segundo tipo de ejercicio.
- 15 • La figura 7 es una representación esquemática de una variante del dispositivo de ejercicio.
- La figura 8 es una representación esquemática parcialmente en sección de un dispositivo de ejercicio que consta de un motor según otra forma de realización.
- La figura 9 es una representación esquemática funcional de un sistema de control del motor representado en la figura 8.
- 20 • La figura 10 es una representación esquemática de un ejercicio de inversión del movimiento de un corredor.
- La figura 11 es una representación gráfica del funcionamiento de un comparador con histéresis que se puede utilizar en el sistema de control de la figura 9.

Las figuras 1 y 2 ilustran un dispositivo de ejercicio en el que se pueden implementar unos procedimientos de control conformes con la invención. En referencia a la figura 1, el dispositivo de ejercicio comprende un motor 1 eléctrico que puede accionar la rotación de un árbol 2 y ejercer un par sobre el árbol 2. Una polea 3 está montada apretada sobre el árbol 2. Un cable 4 está fijado en su primer extremo dentro de la ranura de la polea 3. Este cable 4 se puede enrollar dentro de la ranura alrededor de la polea 3. En el segundo extremo 5 del cable está fijada una empuñadura 6 por medio de la cual un usuario puede influir en el dispositivo con su fuerza muscular cuando practica unos ejercicios musculares.

El motor 1 consta de un codificador 10 de posición que mide la posición del árbol 2 del motor. La posición se transmite a una tarjeta 7 electrónica en forma de una señal 9 de posición. Esta tarjeta 7 electrónica está adaptada para recibir esta señal de posición y utiliza la señal 9 de posición para generar una señal de control. Por medio de esta señal de control, la tarjeta 7 electrónica controla el par generado por el motor 1 para verificar la fuerza ejercida por el motor 1, la cual se transmite al nivel de la empuñadura 6 por medio de la polea 3 y del cable 4. Para ello, la tarjeta 7 electrónica transmite la señal de control al motor 1 mediante la conexión 8. Esta señal de control la recibe un órgano de alimentación integrado dentro del motor 1 que, a partir de esta señal de control, proporciona una determinada corriente al motor 1. La corriente proporcionada por el órgano de alimentación induce, de este modo, un par sobre la parte 2 móvil y, por lo tanto, por medio de la polea 3 y del cable 4 una fuerza sobre la empuñadura 6. La fuerza que ejerce el motor 1 es sustancialmente proporcional a la corriente proporcionada por el órgano de alimentación al motor 1.

Se pueden implementar numerosos procedimientos de control en dicho dispositivo con el fin de producir diferentes solicitaciones musculares. Un primer ejemplo es simular la presencia de una masa predeterminada suspendida de un cable, es decir que el par motor ejerza sobre la empuñadura 6 una carga constante en cuanto al sentido y a la intensidad.

45 Cuando un usuario manipula la empuñadura 6 durante un ejercicio, este se opone a la fuerza del motor 1 utilizando su fuerza muscular. Por ejemplo, durante un ejercicio practicable con este dispositivo, un usuario se coloca por encima del dispositivo y realiza una tracción de la empuñadura 6 desde una posición inferior hacia una posición superior utilizando sus manos. Durante este desplazamiento hacia arriba, el usuario debe vencer la fuerza dirigida hacia abajo que ejerce el motor 1 sobre la empuñadura 6. Cuando la empuñadura 6 llega a la posición superior, el usuario realiza el movimiento inverso y conduce a la empuñadura 6 hacia la posición inferior sin dejar de estar constreñido por la misma fuerza sometida en la misma dirección por el motor 1. Durante el descenso, el usuario acompaña y frena el desplazamiento de la empuñadura hacia abajo. De este modo, el dispositivo de ejercicio simula una masa que el usuario debe levantar y apoyar de forma alterna.

55 Durante este ejercicio, la señal de posición se transmite de manera continua a la tarjeta 7 electrónica que calcula y transmite al motor de manera continua la señal de control correspondiente. De este modo, el dispositivo controla el esfuerzo generado por el motor 1 a lo largo de todo el ejercicio.

Sin embargo, puede presentarse una ligera diferencia entre el momento en el que el codificador transmite la posición y el par ejercido por el motor 1 debido al tiempo de respuesta del motor 1 a la señal de control y del tiempo de

respuesta de la tarjeta 7 electrónica.

En referencia a la figura 2, los medios de control del motor se van a describir a continuación de manera más precisa en referencia a un segundo ejemplo.

5 La tarjeta 7 electrónica consta aquí de un microprocesador 20. Un codificador 10 de posición mide la posición del árbol 2 del motor, esta posición se codifica en una señal de posición que se transmite a través de la conexión 38 al microprocesador 20. De este modo, en una forma de realización esta medida se puede emitir cada 30 ms y, de preferencia, cada 5 ms. En este microprocesador 20, la señal de posición se transmite a un órgano 13 de derivación a través de la conexión 18. El órgano de derivación deriva la señal de posición generando de este modo una señal de velocidad que se transmite a un segundo órgano 14 de derivación a través de la conexión 15. El segundo órgano de derivación deriva la señal de velocidad generando de este modo una señal de aceleración. La señal de aceleración se transmite a través de la conexión 17 a un módulo 12 de cálculo. Por otra parte, la señal de posición y la señal de velocidad se transmiten respectivamente al módulo 12 de cálculo a través de las conexiones 11 y 16. El módulo 12 de cálculo calcula la señal de control que hay que proporcionar al motor y la transmite al motor a través de la conexión 19.

15 De manera más precisa, la señal de control se calcula a partir de la aceleración de modo que la fuerza ejercida por el motor 1 sobre la empuñadura 6 conste de la carga dirigida hacia abajo y de una inercia artificial predeterminedada.

Para ello, el módulo 12 de cálculo tiene en cuenta la acumulación del par que ejerce el motor 1 y la inercia de las piezas giratorias del dispositivo unidas a este motor que son el árbol 2, la polea 3, el cable 4 y la empuñadura 6.

En efecto, cuando un usuario manipula la empuñadura 6:

$$20 \quad m_r \times \gamma = F_m + F_s \quad (1)$$

En la que F_s es la fuerza que ejerce el usuario sobre la empuñadura 6, F_m es la fuerza que ejerce el motor 1 sobre la empuñadura 6 y que controla el módulo 12 de cálculo, m_r es la inercia de las piezas móviles devuelta en la empuñadura 6 y la masa de la empuñadura 6, y γ es la aceleración de la empuñadura 6.

25 La ecuación (1) corresponde al principio fundamental de la dinámica aplicado a un sistema en traslación. Sin embargo, el experto en la materia entenderá que los pares ejercidos sobre un sistema en rotación se pueden modelizar de manera similar.

La fuerza ejercida por el motor F_m está compuesta por dos componentes inducidas por la señal de control: una componente F_{ch} fija que representa la carga y una componente proporcional a la aceleración F_i que representa la inercia artificial. De este modo:

$$30 \quad F_m = F_{ch} + F_i \quad (2)$$

En la que la fuerza F_i se define en función de un coeficiente k de proporcionalidad:

$$F_i = -k \times \gamma \quad (3)$$

El coeficiente k es un parámetro que se programa en el modulo 12 de cálculo.

La ecuación (1) se puede volver a escribir:

$$35 \quad (m_r + k) \times \gamma = F_{ch} + F_s \quad (4)$$

De este manera, si el coeficiente k de proporcionalidad utilizado para producir la señal de control es negativo, esto es $-m_r < k < 0$, el dispositivo simula una inercia inferior a la inercia real del dispositivo, es decir la inercia de las piezas giratorias del dispositivo. Si el coeficiente k de proporcionalidad es positivo, el dispositivo simula una inercia mayor que la inercia real del dispositivo.

40 El usuario, por medio de una interfaz de usuario no representada puede modificar los valores de la componente F_{ch} fija y del factor k de proporcionalidad, y de este modo determinar el tipo de esfuerzo con el cual desea ejercerse. De este modo, se puede hacer variar de forma independiente la carga de la inercia. Por lo tanto, se puede proponer una amplia gama de tipo de ejercicios musculares al usuario.

45 La interfaz de usuario está conectada al módulo 12 de cálculo y está adaptada para recibir datos sobre la posición, la velocidad, la aceleración o unas informaciones calculadas a partir de estos datos, por ejemplo, el esfuerzo proporcionado o la potencia consumida. Estos datos e informaciones los calcula el módulo 12 de cálculo a partir de las señales de aceleración, de velocidad y de posición transmitidas al módulo 12 de cálculo respectivamente mediante las conexiones 17, 16 y 11. Con estos datos y estas informaciones, la interfaz de usuario puede solicitar sensorialmente al usuario mostrando estas informaciones. El usuario puede de esta manera seguir el nivel de su

esfuerzo durante sus ejercicios físicos. Sin embargo, estas sollicitaciones pueden ser de diferente tipo, por ejemplo se pueden considerar sollicitaciones sonoras. Por otra parte, la interfaz de usuario consta de unos órganos de control que permiten que el usuario haga variar los valores de la componente F_{ch} fija y del factor k de proporcionalidad, de preferencia de forma independiente entre sí. Estos órganos de control son, por ejemplo, unos botones en la interfaz de usuario que corresponden a unos pares de componente F_{ch} fija y de factor k de proporcionalidad predeterminados. De este modo, estos pares definen varios tipos de ejercicios. Un órgano de almacenamiento, por ejemplo una memoria en el módulo 12 de cálculo, permite almacenar estas informaciones y datos. Por medio de este almacenamiento, el usuario puede seguir la evolución de su rendimiento a lo largo del tiempo.

En referencia a las figuras 3, 5 y 6 se van a describir varios ejemplos particulares de ejercicios que se pueden producir con el dispositivo presentado con anterioridad.

La figura 3 representa la posición de la empuñadura 6 a lo largo del eje z de la figura 1 y la aceleración de la empuñadura 6 en función del tiempo durante unas sollicitaciones de tracción de la empuñadura presentadas en referencia a la figura 1. La curva 21 con línea discontinua representa la posición de la empuñadura que se mide mediante el codificador de posición 10. La curva 22 continua representa la aceleración que corresponde a la curva 21 de posición. Por convención, se ha orientado el eje z hacia abajo en la figura 1. El punto 24 de la curva 21 de posición corresponde, por lo tanto, al momento en el que la empuñadura 6 está en la posición inferior y el punto 23 corresponde a la posición superior de la empuñadura.

Con fines ilustrativos entre el punto 23 hasta el punto 25, la curva 21 de posición es sustancialmente sinusoidal. De este modo la aceleración forma también, a lo largo de este periodo, una curva sinusoidal. A continuación la curva de posición ya no es sinusoidal y, por lo tanto, la aceleración ya no es sinusoidal.

La figura 5 representa la fuerza que opone el motor 1 al usuario en función del tiempo para el mismo intervalo de tiempo que la figura 3. La curva 28 es constante al nivel de un umbral 26. En efecto, la figura 5 corresponde a un primer ejercicio en el que el módulo de cálculo proporciona una señal de control al motor de modo que la fuerza opuesta al usuario es constante en el tiempo. Para ello, el módulo de cálculo produce una señal de control que induce una fuerza que tiene una componente de carga igual al umbral 26 y una componente de inercia nula. En este ejercicio, el usuario se opone, por lo tanto, únicamente a una carga fija y a la inercia real del sistema.

La figura 6 representa un segundo ejercicio que utiliza parcialmente el principio del primer ejercicio presentado en referencia a la figura 5. La curva 40 representa la fuerza generada por el motor 1 durante este ejercicio. Esta consta de dos fases: una fase 31 superior durante la cual la curva es constante al nivel del umbral 27 y una fase inferior durante la cual la curva adopta la forma de la curva de aceleración al nivel del umbral 27. En efecto, el usuario se ve sometido a una fuerza de carga que corresponde al umbral 27 cuando la aceleración medida es positiva, es decir aquí durante las fases 31 superiores de la manipulación de la empuñadura en las que la empuñadura está cerca de su posición 23 superior. Sin embargo, el usuario se ve sometido a un esfuerzo inercial suplementario orientado en el mismo sentido que la fuerza de carga cuando la aceleración medida es negativa, es decir durante una fase 29 inferior cuando la empuñadura llega a la posición 24 inferior y cuando el usuario desacelera el descenso y acelera a continuación para realizar una tracción de la empuñadura hacia la posición 23 superior. Esta fase inferior corresponde a la fase 30 durante la cual la aceleración es negativa. De esta manera, el usuario se ve sometido a una inercia artificial suplementaria cuando llega a la posición inferior y desea volver a levantar la empuñadura hacia la posición superior, es decir en el momento en el que su sollicitación muscular es más intensa. De este modo, el dispositivo de ejercicio permite producir una sollicitación adicional que se opone al usuario durante una inversión del sentido del movimiento de este usuario.

Para la implementación del segundo ejercicio, el módulo 12 de cálculo aplica un coeficiente k de proporcionalidad determinado de la siguiente manera:

$$\text{Si } \gamma > 0, k = 0 \quad (5)$$

$$\text{Si } \gamma < 0, k = +k_0, \text{ i.e. } k > 0 \quad (6)$$

En la que k_0 es una constante positiva predeterminada.

Los ejercicios descritos con anterioridad se dan a título ilustrativo. En particular, el módulo de cálculo puede verificar el coeficiente k de proporcionalidad de múltiples formas. A título de ejemplo, el módulo de cálculo puede hacer que varíe el coeficiente de proporcionalidad en función de la posición o de la velocidad de la empuñadura. De este modo, en una variante, el dispositivo de ejercicio produce una componente de inercia adicional cuando la empuñadura alcanza una cierta posición. En una variante del dispositivo de ejercicio, esta componente de inercia adicional se añade cuando la velocidad es en un sentido particular. De esta manera, se pueden producir una multitud de ejercicios interesantes para el desarrollo muscular. Esto permite, en particular, sollicitar los músculos del usuario de manera más intensa cuando están en una posición particular.

En una variante del dispositivo presentado en la figura 1, el árbol 2 del motor está unido a un reductor de velocidad que tiene una relación r de reducción. La presencia de dicho reductor permite generar unas fuerzas relativamente

importantes reduciendo al mismo tiempo el tamaño del motor, con el objetivo de la miniaturización del dispositivo. La polea 3 está fijada en un árbol de salida del reductor. En esta variante, la presencia de un reductor aumenta mucho la inercia real de las piezas móviles del motor 1 devuelta a la empuñadura 6. La inercia real del dispositivo también se aumenta por la inercia devuelta a las piezas rotativas del reductor. La inercia del motor y del reductor devuelta a la salida del reductor J_{tot} se puede escribir:

$$J_{tot} = J_{red} + r^2 J_{mot} \quad (7)$$

con la inercia del reductor J_{red} y la inercia real del motor J_{mot} . De este modo, si la relación r de reducción es importante, la inercia real del sistema se ve muy aumentada. De este modo, la utilización de un factor k proporcional negativo permite en esta variante compensar toda o parte de la inercia inducida por este reductor. Esta compensación es aun más precisa cuando la aceleración que se mide para generar la fuerza de inercia artificial es la aceleración del árbol 2 del motor, de modo que esta medición tiene en cuenta el efecto del reductor, efecto que consiste en aumentar la relación r de aceleración al nivel del árbol 2 del motor con respecto a la aceleración ejercida sobre la empuñadura 6.

El dispositivo de ejercicio muy simple descrito en referencia a las figuras 1 y 2 se da a modo ilustrativo, por lo tanto la invención no está en modo alguno limitada a este tipo de dispositivo de ejercicio. En particular, la invención se puede adaptar a cualquier tipo de máquina de ejercicio que solicita cualquier parte del cuerpo. A título de ejemplo, la invención se puede adaptar para constituir un dispositivo de tipo remo, de bicicleta estática o de barra de levantamiento.

En referencia a la figura 7, se ha representado un dispositivo 50 de ejercicio para ejercitar los músculos de los brazos en tracción y en empuje en el cual se pueden implementar unos procedimientos de control de acuerdo con la invención.

El dispositivo 50 consta de dos palancas 53 que un usuario puede desplazar de forma alterna hacia delante y hacia atrás. Las palancas 53 están acopladas cada una a un motor 54 eléctrico que está controlado por el dispositivo de control 55. Según una forma de realización, los motores 54 están controlados de modo que generan una fuerza representada por la curva 33 de la figura 4. Con el objetivo de su simplificación, el movimiento giratorio de las palancas se aproxima a un movimiento lineal a lo largo del eje x .

De este modo, la figura 4 representa el esfuerzo que se opone a un usuario en el marco del dispositivo de ejercicio representado en la figura 7. La curva 33 representa la fuerza que genera el motor y presenta un valor proporcional a la curva 30 de aceleración. Se supone que un usuario realiza unas sollicitaciones a la palanca 53 de modo que la posición medida y la aceleración son las mismas que en la figura 3, sustituyendo el eje x aquí al eje z . En este tipo de ejercicio, el dispositivo 55 de control somete una señal de control a los motores 54 que no induce una componente de carga. Solo producen una componente de inercia artificial los motores 54. De este modo, el esfuerzo experimentado por el usuario es proporcional a la aceleración y corresponde, por lo tanto, a una inercia simulada sin carga que es superior a la inercia real del dispositivo.

Este tipo de sollicitación con una inercia artificial sin carga suplementaria también es interesante en una máquina de ejercicio que solicita los músculos de las piernas. En efecto, la sollicitación muscular producida por el motor cuando se controla de esta manera corresponde sustancialmente a la sollicitación muscular necesaria para invertir el movimiento de un corredor en un terreno horizontal. Dicho ejercicio se ilustra en la figura 10.

En la figura 10, el corredor 34 está inicialmente corriendo a gran velocidad en el sentido del eje x , como se representa esquemáticamente por el vector 35 de velocidad. Al final del ejercicio, el corredor 34 está corriendo a gran velocidad en sentido opuesto al eje x , como se representa esquemáticamente por el vector 36 de velocidad. Durante el ejercicio, el corredor 34 ha tenido, por lo tanto, que frenar su movimiento hasta su detención, producido por ejemplo en el punto x_0 , y a continuación volver a acelerar en el otro sentido. Los músculos del corredor 34, por lo tanto, se han sollicitado durante este ejercicio esencialmente para vencer la inercia del propio corredor, orientada en el eje x . Al ser la fuerza de gravedad perpendicular al movimiento, esta no crea una sollicitación muscular particular en este ejercicio, es decir que la sollicitación muscular específica del ejercicio es una sollicitación de inercia pura. La máquina de ejercicio programada para producir este tipo de sollicitación es aun más ventajosa puesto que esta situación de inversión de carrera es muy frecuente en los deportes de pelota, por ejemplo el rugby o el fútbol.

De forma similar, un programa de control que asocia la fuerza de inercia artificial con una carga constante permite producir una sollicitación muscular similar a la realización del mismo ejercicio en un terreno en pendiente.

A continuación se va a presentar un dispositivo que permite simular una fuerza de fricción viscosa suplementaria. El dispositivo es similar al dispositivo descrito con la figura 7 y consta de un microprocesador que tiene la misma estructura que el microprocesador 20 del sistema de control descrito en la figura 2. La fuerza ejercida por el motor consta aquí de tres componentes. Las dos primeras componentes corresponden a la componente de carga y a la componente de inercia descritas con anterioridad. La tercera componente es una componente de fricción viscosa. De este modo:

$$F_m = F_{ch} + F_i + F_{fv} \quad (8)$$

En la que la fuerza F_{fv} que corresponde a la componente de fricción viscosa, se define en función de un coeficiente k_2 de proporcionalidad y en función de la velocidad v de la empuñadura:

$$F_{fv} = k_2 \times v \quad (9)$$

5 La velocidad v se determina mediante el módulo 12 de cálculo por medio de una señal de velocidad que se transmite al módulo 12 de cálculo a través de la conexión 16.

De este modo, cuando el usuario desplaza las palancas en un sentido, el motor genera un par sobre la palanca que comprende la componente de fricción viscosa proporcional a la velocidad de desplazamiento de la palanca además de una componente de inercia. Esta componente de fricción viscosa provoca una solicitud suplementaria que se
10 opone al sentido del movimiento del usuario. De esta manera, el dispositivo simula una fricción viscosa que se puede producir mediante una máquina que comprende un sistema con aletas.

El coeficiente k_2 puede ser una constante almacenada en la memoria del microprocesador 20. De la misma manera que la componente de inercia, el módulo 12 de cálculo puede controlar el coeficiente k_2 de proporcionalidad de múltiples formas. A título de ejemplo, el módulo de cálculo puede hacer que varíe el coeficiente k_2 de
15 proporcionalidad en función de la posición de la empuñadura.

En referencia a las figuras 8 y 9, se va a describir a continuación otra máquina 60 de ejercicio que utiliza un motor eléctrico. La máquina 60 presenta una forma relativamente similar a una máquina de peso conocida con el nombre de máquina de *squat* (del inglés por posición en cuclillas). Pero esta puede proporcionar un surtido de solicitudes musculares mucho más extenso.

20 La estructura de la máquina consta de una base 61 metálica puesta en el suelo, mostrada en sección en la figura 8, y de una columna 62 de guiado fijada verticalmente a la base 61. La superficie superior de la base 61 constituye una plataforma 68 destinada a acoger un atleta, por ejemplo en la posición de pie como se ilustra en la línea de trazos. Un carro 63 está montado deslizante sobre la columna 62 mediante unos medios de guiado no representados, de modo que se traslada verticalmente a lo largo de la columna 62. Según una forma de realización, el carro 63 es una
25 estructura de cuatro lados que rodea completamente la columna 62, presentando ambas una sección cuadrada. El carro 63 lleva unas varillas 69 de agarre que se extienden por encima de la plataforma 68 y están destinadas a acoplarse con el atleta, por ejemplo a la altura de sus hombros o de sus brazos o de sus piernas según el ejercicio deseado.

Una correa 64 de transmisión está montada en la columna 62 y se extiende entre una polea 65 tensora montada
30 pivotante en el punto superior de la columna 65 y una polea 66 motriz montada pivotante dentro de la base en la vertical de la columna 62. La correa 64 es una correa dentada que realiza una ida y vuelta en circuito cerrado entre las poleas 65 y 66 de manera que se acople sin deslizamiento con la polea 66 motriz. El carro 63 está solidarizado con una de las dos ramas de la correa 64, por ejemplo por medio de unos remaches 67 u otros medios de fijación, de modo que se encuentre también acoplado sin deslizamiento con la polea 66 motriz, traduciéndose cualquier
35 rotación de la polea 66 en una traslación vertical del carro 63. De preferencia, la correa 64 está formada por una cinta dentada de tipo AT10 cuyos dos extremos están fijados al carro 63, de modo que se cierre el circuito a la altura del carro 63.

Un grupo 70 motor está alojado dentro de la base 61 y acoplado con la polea 66 motriz por medio de un reductor 71 de velocidad. De manera más precisa, el reductor 71 de velocidad consta de un árbol 72 de entrada acoplado sin
40 deslizamiento con el árbol del motor del grupo 70 motor, que se representa con más detalle en la figura 9, y un árbol 73 de salida que lleva la polea 66 motriz. El reductor 71 de velocidad impone una relación r de reducción entre la velocidad w_1 de rotación del árbol 72 y la velocidad w_2 de rotación del árbol 73, esto es $w_1/w_2 = r$. Según unas formas de realización, la relación r de reducción se selecciona entre 3 y 100, y de preferencia entre 5 y 30.

La máquina 60 consta también de un tablero 74 de control que puede estar unido con la base 61 o ser independiente de esta. Además, un cable 75 de alimentación eléctrica sale de la base 61 para estar unida a la red eléctrica. La máquina 60 no necesita una potencia eléctrica excepcional y puede, por lo tanto, alimentarse mediante una red
45 doméstica habitual.

La figura 9 presenta de manera más precisa el grupo 70 motor y su unidad 80 de control, que también está alojada dentro de la base 61. El grupo 70 motor consta de un motor 76 eléctrico, por ejemplo un motor sincrónico
50 autopilotado, y de un variador 77 de corriente que dirige la corriente 78 de alimentación del motor 76.

Hay que recordar que el motor sincrónico autopilotado presenta un flujo de rotor constante. Este flujo se crea mediante unos imanes permanentes o unas bobinas montadas en el rotor, mientras que el flujo de estátor variable se crea mediante un devanado trifásico que permite orientarlo en todas las direcciones. El control electrónico de este motor consiste en controlar la fase de las ondas de corriente de modo que se crea un campo giratorio, siempre adelantado 90° sobre el campo de los imanes, con el fin de que el par sea máximo. En estas condiciones, el par
55

motor sobre el árbol 2 del motor es proporcional a la corriente de estator. Esta corriente se verifica de forma precisa en tiempo real mediante la unidad 80 de control por medio del variador 77 de corriente.

5 Para ello, la unidad 80 de control consta de un controlador 81 de baja intensidad, por ejemplo de tipo FPGA, que recibe la señal 83 de posición desde el codificador 84 de posición del árbol 2 del motor y realiza unos cálculos en tiempo real a partir de la señal 83 de posición para determinar los valores instantáneos de la posición, la velocidad y la aceleración del árbol 2 del motor. El codificador 84 de posición es, por ejemplo, un dispositivo óptico que proporciona dos señales cuadradas en cuadratura según la técnica conocida.

10 El controlador 82 de alta intensidad consta de una memoria y de un procesador y ejecuta unos programas de control complejos a partir de las informaciones proporcionadas en tiempo real mediante el controlador de baja intensidad 81. Se han descrito unos programas de control posibles más arriba en referencia a las figuras 3 a 6.

15 El tablero 74 de control está unido al controlador 82 de alta intensidad mediante una conexión TCP/IP 85, por cable o inalámbrica, y consta de una interfaz que permite que un atleta o su entrenador seleccione unos programas de ejercicio registrados previamente o que ajuste de forma precisa y de manera personalizada los parámetros de dicho programa. En el ejemplo representado, la interfaz es una pantalla 86 táctil que consta de un cursor 87 para ajustar el valor de la carga F_{ch} a lo largo de una escala predeterminada, por ejemplo de 0 a 3.000 N, y de un cursor 88 para ajustar el valor del coeficiente k a lo largo de una escala predeterminada, es decir la fuerza F_i de inercia artificial.

20 En función del programa de ejercicio ejecutado, el controlador 82 de alta intensidad trata las informaciones que proporciona en tiempo real el controlador 81 de baja intensidad y calcula el par instantáneo que debe ejercer el grupo 70 motor. El controlador 81 de baja intensidad genera una señal 90 de control que corresponde a este par instantáneo y transmite la señal 90 al variador de corriente 77, por ejemplo en forma de una tensión de control analógica que varía entre 0 y 10 V. En una variante, también se puede utilizar una interfaz digital CAN.

25 Los programas de control que permiten simular diferentes ejercicios pueden ser muy numerosos. De preferencia, sea cual sea el detalle del programa, es siempre el atleta el que dirige la máquina 60 y la máquina la que reacciona a la sollicitación que ejerce el atleta sobre las barras 69 de agarre. Por ello, es preferible que la máquina 60 pueda reaccionar rápidamente a los cambios de dirección impuestos por el atleta, a pesar de las fricciones que inevitablemente existen en dicho sistema mecánico.

Por ello, según una forma de realización, el controlador 82 de alta intensidad implementa un algoritmo de compensación de las fricciones que se va a explicar a continuación.

30 Se escribe m_c la masa del carro 63. Se escribe $F_c = m_c \cdot g$, la fuerza que debe imponer el motor 76 a la correa 64 para compensar el peso del carro 63 sin que el usuario soporte ninguna carga. El algoritmo utiliza unos parámetros a y b definidos por el hecho de que si el motor 76 aplica $F_c + a$ el carro 63 está en el límite del movimiento en la dirección positiva, hacia arriba, y si el motor 76 aplica $F_c - b$ el carro 63 está en el límite de la puesta en movimiento en sentido negativo, hacia abajo. Estos parámetros a y b se pueden medir de forma experimental. El algoritmo regula el paso de la fuerza $F_c + a$ a la fuerza $F_c - b$ en caso de cambio del sentido de la sollicitación que ejerce el usuario. El algoritmo aplica unas leyes que utilizan la velocidad v lineal del carro 63 y un coeficiente k_f , esto es:

$$F_{ch0} = F_c + k_f \cdot v \quad (10)$$

$$F_c - b < F_{ch0} < F_c + a \quad (11)$$

40 En la que F_{ch0} designa la fuerza que el motor 76 impone por defecto sobre la correa 64, esto es el valor que se aplica cuando se pone el cursor 87 en la graduación 0. Dicho de otro modo, si se pone el cursor 37 en la graduación 3.000 N para un programa de ejercicio que prevé ejercer esta carga de forma alterna en las dos direcciones, y el carro 63 pesa 60 kg, el motor eléctrico ejercerá de hecho una fuerza de aproximadamente 3.600 N en ascenso y 2.400 N en descenso.

45 De este modo, cuanto más alto es el coeficiente k_f , más rápidamente reacciona la máquina a los cambios de dirección impuestos por el usuario. Más allá de un cierto límite, una reactividad muy fuerte podría necesitar un filtrado frecuencial de la medición de velocidad, por ejemplo de tipo paso bajo del primer orden.

50 Según el programa seleccionado, por ejemplo cuando el motor aplica una fuerza de inercia proporcional a la aceleración y/o una fuerza viscosa proporcional a la velocidad, o cuando el programa prevé diferentes reacciones en sentido concéntrico y en sentido excéntrico, la fuerza que hay que aplicar calculada puede experimentar una discontinuidad en el momento de la inversión del sentido, lo que es necesariamente perjudicial para la comodidad de uso de la máquina.

Según una forma de realización, el controlador 82 de alta intensidad implementa un algoritmo que permite evitar estas discontinuidades. Por ello, el controlador 82 detecta un cambio de dirección con el paso de la señal de velocidad por un comparador de histéresis representado de forma esquemática en la figura 11.

Al iniciarse la fase concéntrica, si la velocidad $v > \epsilon$, el controlador 82 dispara el paso de F2 a F1. Esta variación se hace con un índice de variación constante, por ejemplo del orden de 200 N/s.

5 Del mismo modo, durante el paso de la fase concéntrica a la fase excéntrica, cuando la velocidad se vuelve negativa y pasa bajo un umbral $v < -\epsilon$, el controlador 82 dispara el paso de F1 a F2. El valor de umbral ϵ se selecciona de manera que garantice una estabilidad suficiente, esto es que el motor no pasa de F1 a F2 de forma inesperada cuando el atleta decide hacer una fase de detención en su movimiento.

10 En la figura 11, hay que señalar que las curvas de variación de la fuerza en función de la velocidad entre los valores F1 y F2 no vienen impuestas por el sistema y dependen de hecho del comportamiento del usuario, esto es cómo éste hace que varíe la velocidad en función del tiempo, puesto que el sistema impone un índice de variación de fuerza en función del tiempo.

Como complemento, el programa de control puede impedir que el motor realice más de dos cambios consecutivos si la diferencia de posición de la parte móvil entre los dos cambios no supera un determinado límite, por ejemplo de 10 cm.

15 En otras formas de realización, el programa de ejercicio puede constar también de una contribución de fuerza F_e elástica definida en función de un coeficiente k_3 de proporcionalidad y en función de la posición z del carro 63:

$$F_e = k_3 \times (z - z_0) \quad (12)$$

En la que z_0 es una altura de referencia parametrizable y la posición z está bien determinada por el controlador 81 de baja intensidad.

20 Se entiende, por lo tanto, que se pueden diseñar numerosos programas de ejercicios combinando a elección unas contribuciones adicionales seleccionadas dentro del grupo que consta de una contribución de inercia artificial proporcional a la aceleración medida, de una contribución de fricción viscosa proporcional a la velocidad medida, de una contribución elástica proporcional a la posición medida, y de una contribución de carga predeterminada. Según una forma de realización, la interfaz hombre-máquina permite que el usuario ajuste de forma independiente los parámetros de cada una de estas contribuciones, en particular los coeficientes k , k_2 y k_3 .

25 Aunque las formas de realización descritas con anterioridad constan de unos motores rotativos, los procedimientos de control descritos con anterioridad se pueden emplear con cualquier otro tipo de actuador eléctrico. En particular, se puede utilizar un motor lineal para utilizarse para generar un esfuerzo sobre el elemento de manipulación,

30 Por otra parte, el cálculo de la señal de control se puede realizar de diferentes formas, de manera unitaria o distribuida, por medio de componentes materiales y/o de software. Los componentes materiales que se pueden utilizar son los circuitos integrados específicos ASIC, las redes lógicas programables FPGA o los microprocesadores. Los componentes de software se pueden escribir en diferentes lenguajes de programación, por ejemplo C, C++, Java o VHDL. Esta lista no exhaustiva.

35 Aunque se ha descrito la invención en relación con varias formas particulares de realización, es evidente que no está en modo alguno limitada y que comprende todos los equivalentes técnicos de los medios descritos así como sus combinaciones si estas entran dentro del marco de la invención.

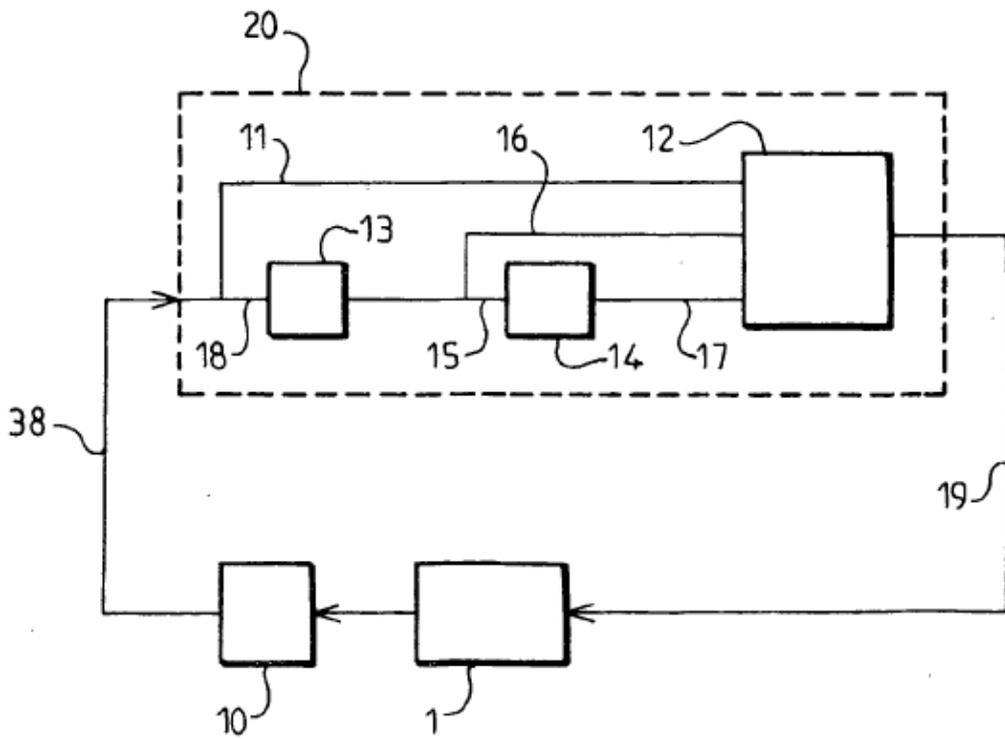
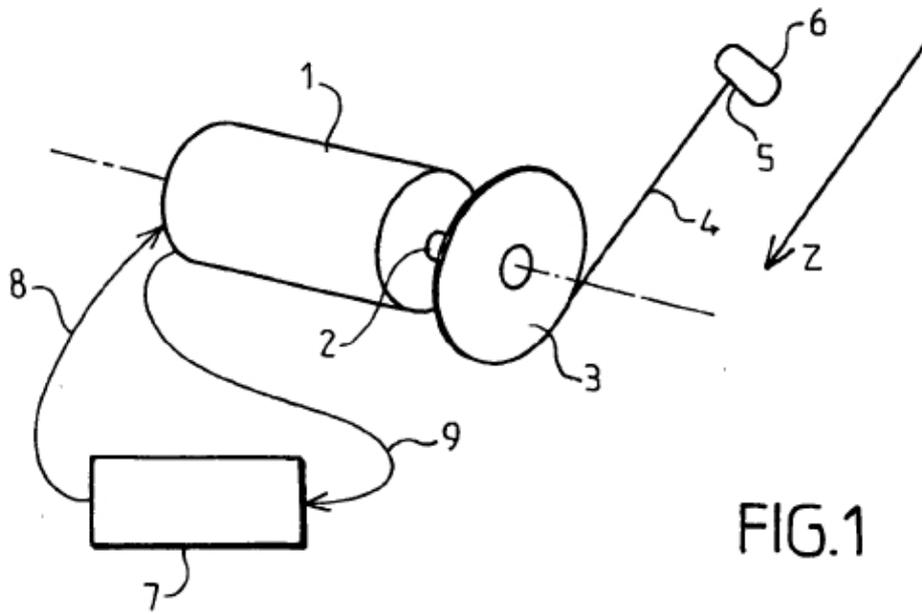
El empleo del verbo "constar", "comprender" o "incluir" y de sus formas conjugadas no excluye la presencia de otros elementos o de otras etapas distintas de las enunciadas en una reivindicación. El empleo del artículo indefinido "un" o "una" para un elemento o una etapa no excluye, salvo que se indique lo contrario, la presencia de una multitud de dichos elementos o etapas. Se pueden representar varios medios o módulos con un mismo elemento material.

40 En las reivindicaciones, cualquier signo de referencia entre paréntesis no debe interpretarse como una limitación de la reivindicación.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de ejercicio que consta de:
 un elemento (6, 69) de sollicitación destinado a ser desplazado por la fuerza de un usuario;
 un actuador (1, 76) eléctrico que consta de una parte (2) móvil, estando el elemento (6, 69) de sollicitación unido a la
 5 parte móvil y estando el elemento de sollicitación adaptado para desplazar la parte móvil;
 un ordenador (12, 80) adaptado para calcular una fuerza que tiene que ejercer el actuador eléctrico y para generar
 una señal de control del actuador eléctrico en función de la fuerza a ejercer calculada, de modo que la fuerza que
 ejerce el actuador (1) eléctrico como respuesta a la señal de control corresponda a la fuerza a ejercer calculada; y
 10 un sensor de aceleración acoplado a la parte (2) móvil para medir la aceleración de la parte móvil y para transmitir la
 aceleración medida al ordenador (12, 80), estando el actuador eléctrico adaptado para ejercer una fuerza sobre el
 elemento (6, 69) de sollicitación por medio de la parte móvil como respuesta a la señal de control;
 en el que el ordenador (12, 80) está adaptado para calcular la fuerza a ejercer en función de la aceleración medida
 por el sensor de aceleración,
caracterizado porque el dispositivo consta, además, de:
- 15 - una memoria del ordenador en la que se almacena un coeficiente de proporcionalidad entre la aceleración
 medida y una contribución aditiva de inercia artificial; y
 - una interfaz (86) hombre-máquina que permite que un usuario ajuste el coeficiente de proporcionalidad,
- estando el ordenador adaptado para calcular la contribución aditiva de inercia artificial en función de la aceleración
 medida y del coeficiente de proporcionalidad, la fuerza a ejercer calculada por el ordenador en función de la
 20 aceleración medida que consta de la contribución aditiva de inercia artificial proporcional a la aceleración medida
 obtenida por el ordenador como resultado de una multiplicación de la aceleración medida por el coeficiente de
 proporcionalidad almacenado en la memoria, de modo que la fuerza que ejerce el actuador (1, 76) eléctrico como
 respuesta a la señal de control conste de la contribución aditiva de inercia artificial proporcional a la aceleración
 medida por el sensor de aceleración y al coeficiente de proporcionalidad almacenado en la memoria.
- 25 2. Dispositivo de ejercicio según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el ordenador (12, 80) está adaptado para
 hacer que varíe el coeficiente de proporcionalidad en función de al menos un parámetro seleccionado entre la
 posición, la velocidad y la aceleración de la parte móvil.
3. Dispositivo de ejercicio según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** el ordenador (12, 80) está adaptado
 para calcular la fuerza a ejercer, de modo que la fuerza que tiene que ejercer el actuador (1, 76) eléctrico consta de
 30 una contribución aditiva de carga adicional que presenta un sentido predeterminado.
4. Dispositivo de ejercicio según la reivindicación 3, **caracterizado porque** el ordenador (12, 80) está adaptado para
 calcular la fuerza a ejercer de modo que la contribución aditiva de inercia artificial esté orientada en el mismo sentido
 que la contribución de sentido predeterminado cuando la aceleración medida es en sentido opuesto a la contribución
 de sentido predeterminado.
- 35 5. Dispositivo de ejercicio según la reivindicación 4, **caracterizado porque** el ordenador (12, 80) está adaptado para
 calcular la fuerza a ejercer de modo que se anule la contribución aditiva de inercia artificial cuando la aceleración
 medida es en el mismo sentido que la contribución de sentido predeterminada del actuador (1, 76) eléctrico.
6. Dispositivo de ejercicio según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** la unión entre el elemento
 (6, 69) de sollicitación y la parte móvil consta de un reductor de velocidad para incrementar la fuerza del motor.
- 40 7. Dispositivo de ejercicio según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** consta de un sensor de
 velocidad apto para medir la velocidad de la parte (2) móvil y **porque** el ordenador (12, 80) es apto para generar la
 señal de control, de modo que la fuerza que ejerce el actuador (1, 76) eléctrico consta de una contribución aditiva de
 fricción viscosa sustancialmente proporcional a la velocidad medida por el sensor de velocidad.
- 45 8. Dispositivo de ejercicio según una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado porque** el actuador (1, 76)
 eléctrico es un motor lineal o un motor rotativo.
9. Dispositivo de ejercicio según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque** el sensor de aceleración
 consta de:
- 50 un codificador (10, 84) de posición acoplado a la parte (2) móvil para medir la posición de la parte móvil,
 generando el codificador (10, 84) de posición una señal de posición;
 - unos elementos (13, 14) de derivación aptos para derivar la señal de posición para determinar la aceleración de
 la parte (2) móvil.
10. Dispositivo de ejercicio según una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado porque** el dispositivo de ejercicio
 se selecciona del grupo que comprende remos, bicicletas estáticas, barras de levantamiento y aparatos de carga
 guiada.

- 5 11. Dispositivo de ejercicio según una de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado porque** el ordenador (12, 80) es apto para calcular la fuerza a ejercer, de modo que la fuerza a ejercer el actuador (1, 76) eléctrico consta de una contribución aditiva de carga adicional que presenta un sentido predeterminado, permitiendo la interfaz (86) hombre-máquina que un usuario ajuste la contribución aditiva de carga adicional con independencia del coeficiente de proporcionalidad.
12. Dispositivo de ejercicio según la reivindicación 11, **caracterizado porque** la interfaz (86) hombre-máquina permite que un usuario ajuste la contribución aditiva de carga adicional en un valor nulo.
- 10 13. Dispositivo de ejercicio según una de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado porque** el elemento (69, 63) de solicitud es desplazable en una dirección vertical y **porque** el ordenador (12, 80) es apto para calcular la fuerza a ejercer en ausencia de fuerza ejercida por el usuario, de modo que la fuerza a ejercer por el actuador (1, 76) eléctrico consta de una contribución aditiva de carga por defecto que compensa el propio peso del elemento (69, 63) de solicitud sin causar el desplazamiento espontáneo del elemento (69, 63) de solicitud en ausencia de fuerza ejercida por el usuario.
- 15 14. Procedimiento de control de un dispositivo de ejercicio que comprende:
medir la aceleración de una parte (2) móvil de un actuador eléctrico como respuesta a la fuerza de un usuario ejercida sobre un elemento (6, 69) de solicitud unido a la parte móvil;
calcular una Fuerza que tiene que ejercer el actuador eléctrico en función de la aceleración medida; y
generar una señal de control para controlar el actuador (1, 76) eléctrico con la señal de control de modo que la
20 fuerza que ejerce el actuador (1, 76) eléctrico como respuesta a la señal de control corresponda a la fuerza a ejercer calculada,
- caracterizado por** las etapas de:
- proporcionar una interfaz (86) hombre-máquina que permita que un usuario ajuste un coeficiente de proporcionalidad entre la aceleración medida y una contribución aditiva de inercia artificial;
 - almacenar el coeficiente de proporcionalidad en una memoria;
 - 25 - multiplicar la aceleración medida por el coeficiente de proporcionalidad para obtener la contribución aditiva de inercia artificial; y
 - obtener la fuerza a ejercer calculada en función de la aceleración medida que consta de la contribución aditiva de inercia artificial proporcional a la aceleración medida, de modo que la fuerza ejercida por el actuador (1, 76) eléctrico sobre el elemento (6, 69) de solicitud por medio de la parte (2) móvil como respuesta a la
30 señal de control consta de una contribución aditiva de inercia artificial proporcional a la aceleración medida.



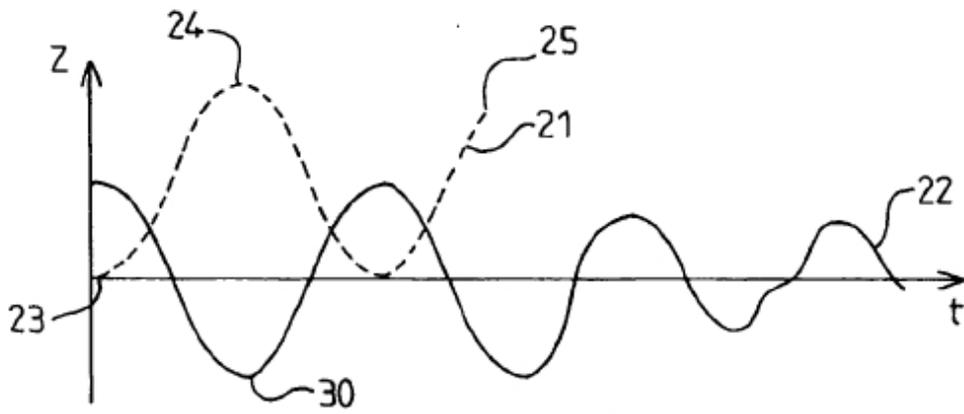


FIG.3

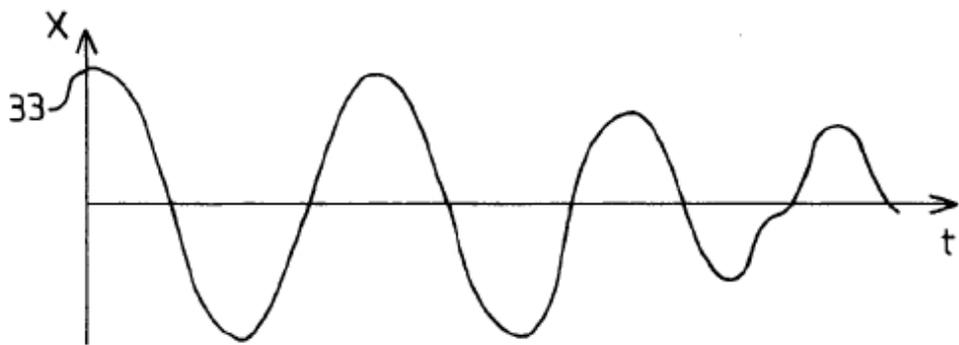


FIG.4

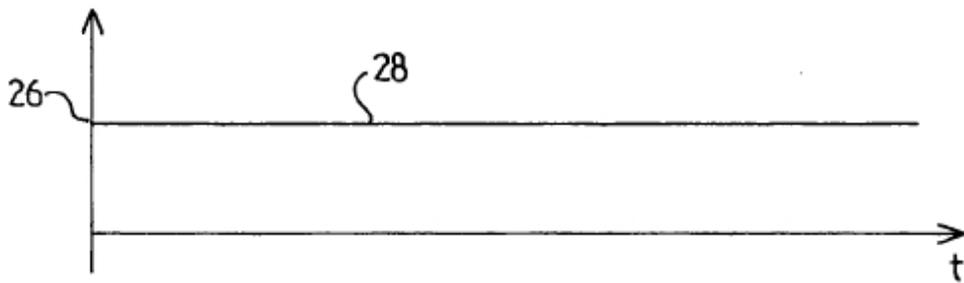


FIG.5

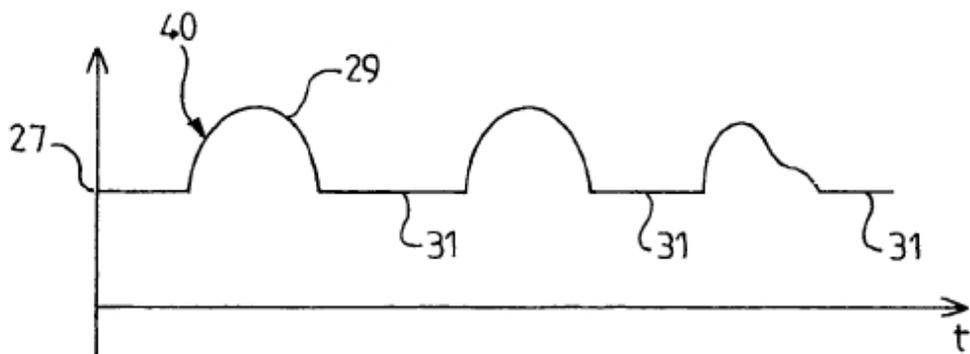


FIG.6

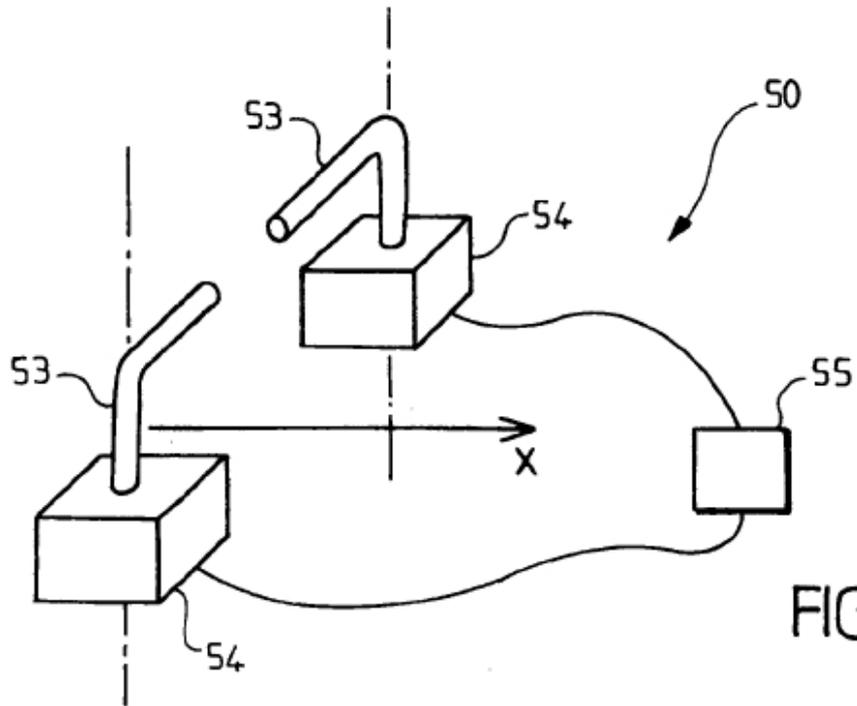


FIG. 7

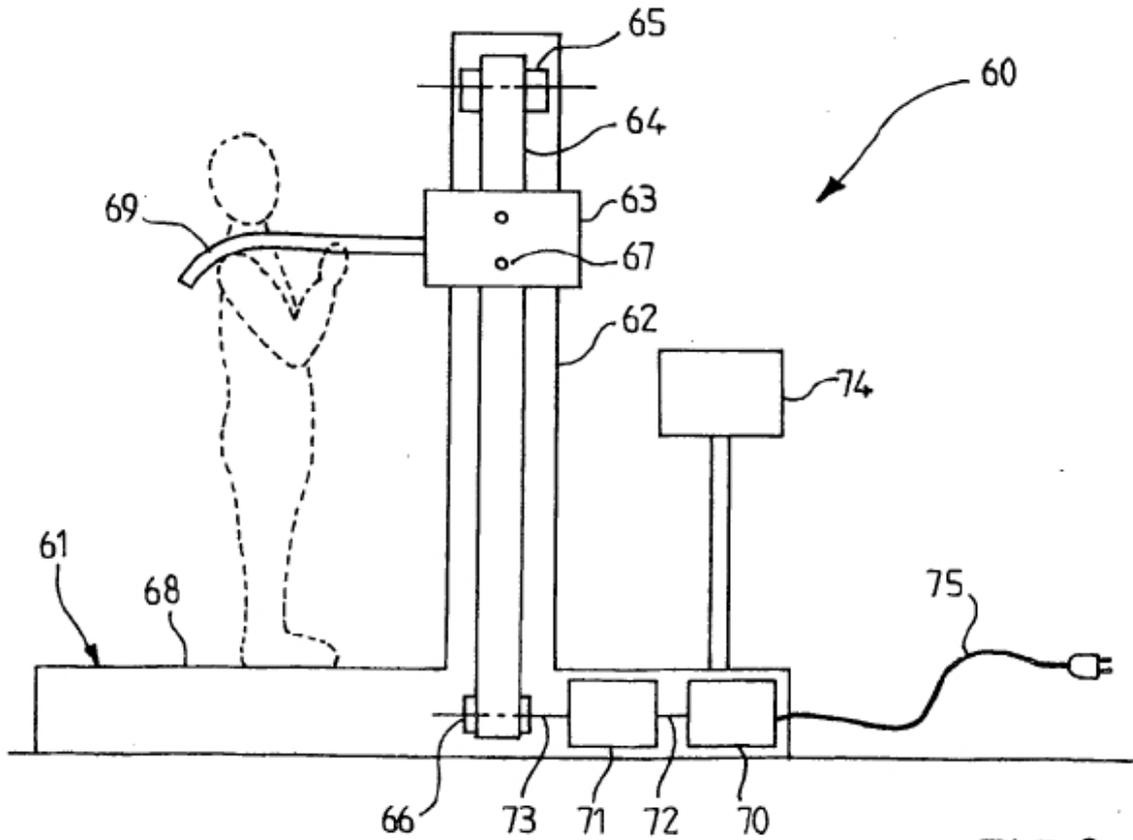


FIG. 8

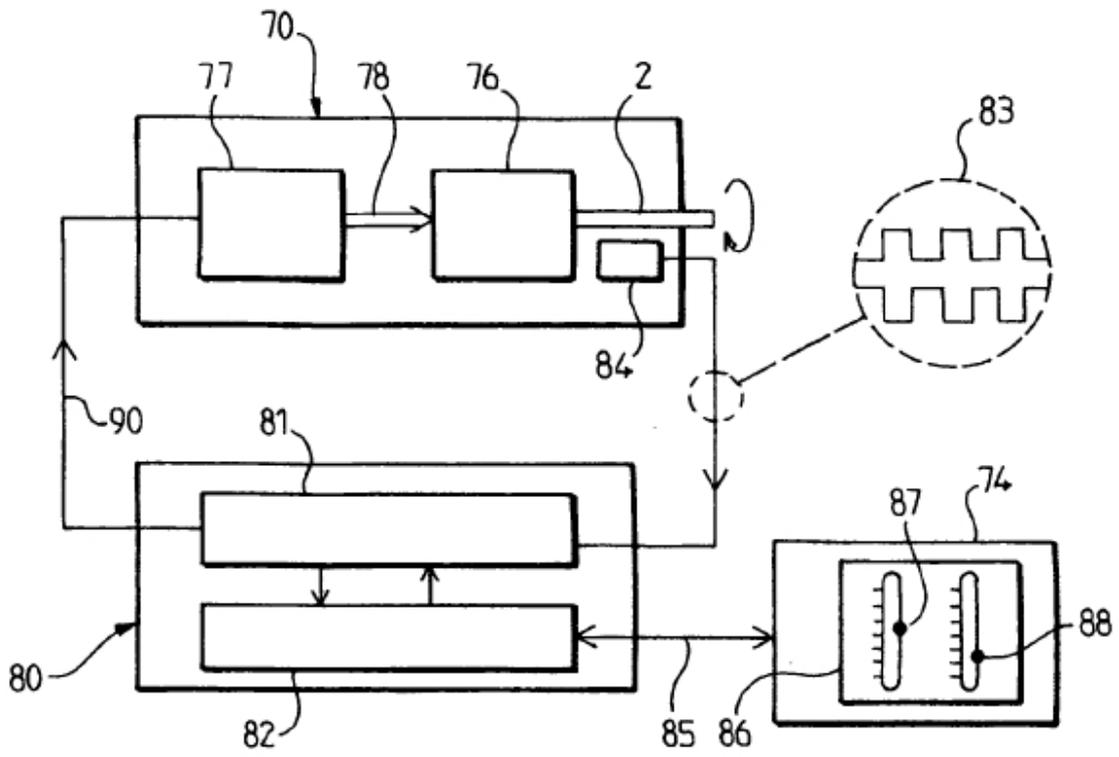


FIG.9

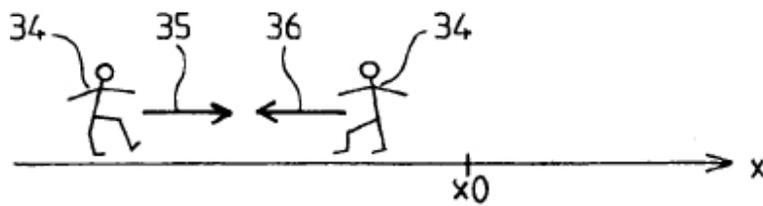


FIG.10

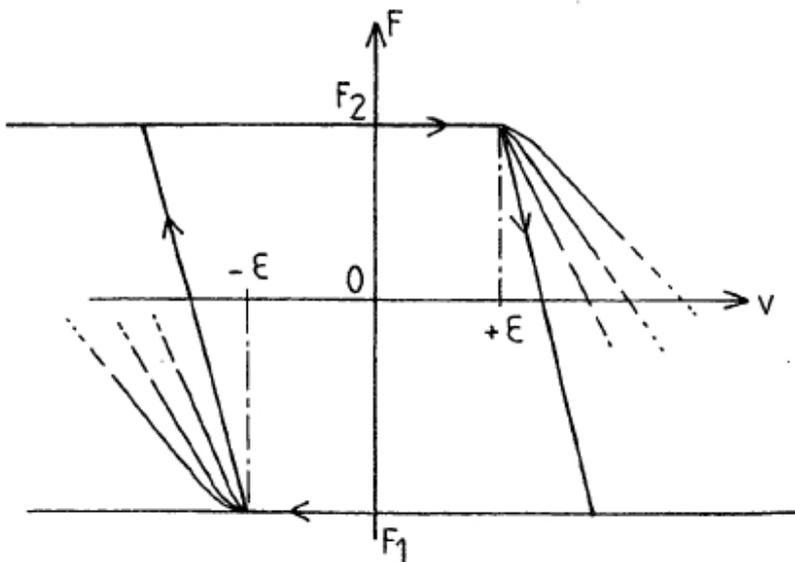


FIG.11