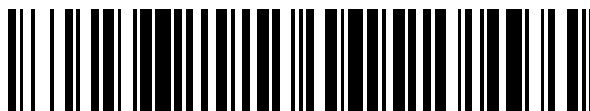


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 458 430**

51 Int. Cl.:

B25J 9/16 (2006.01)

G05B 19/408 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.05.2011** **E 11725486 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.04.2014** **EP 2569130**

54 Título: **Procedimiento de control de una célula de trabajo automatizada**

30 Prioridad:

14.05.2010 FR 1053769

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.05.2014

73 Titular/es:

STAUBLI FAVERGES (100.0%)
Place Robert Stäubli
74210 Faverges, FR

72 Inventor/es:

JOLY, LUC;
BONNET DES TUVES, JEAN MICHEL;
PERTIN, FRANÇOIS y
VOGT, GÉRALD

74 Agente/Representante:

PONTI SALES, Adelaida

ES 2 458 430 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

Procedimiento de control de una célula de trabajo automatizada

- 5 **[0001]** La invención se refiere a un procedimiento de control de una célula de trabajo que comprende un robot, una central de control, un dispositivo de control del robot y un bus de comunicación entre la central de control y el dispositivo de control del robot.
- 10 **[0002]** En el ámbito del pilotaje de brazos robotizados, es conocido que una central de control se comunice, mediante un bus, con los controladores de ejes adaptados para pilotar los motores que permite mover las diferentes partes de un robot. Una tal central de control interpreta las consignas de movimiento suministradas por un usuario o un programa creado por el usuario, de tal manera que pueda definir consignas de movimiento de cada uno de los ejes de movimiento del robot.
- 15 **[0003]** WO-A-2006/062948 describe un procedimiento de control de un brazo de robot según varios ejes de control que comprende una central de control que transmite órdenes de movimiento destinadas al robot en su conjunto mediante un bus a una unidad de cálculo que pertenece al dispositivo de control del brazo robot. Esta unidad de cálculo traducirá las órdenes de movimiento recibidas en órdenes de movimiento para los diferentes controladores de motores.
- 20 **[0004]** Los movimientos de las partes del robot con respecto a los diferentes ejes se calculan al nivel de la central de control aplicando un modelo geométrico inverso que depende del tipo de brazos de robot utilizado. Para desplazar de manera efectiva las diferentes partes del robot, cada uno de los motores recibe órdenes de desplazamientos correspondientes a las consignas de movimiento de ejes. Estos desplazamientos se calculan aplicando el modelo cinemático de las transmisiones propia del brazo de robot que tiene en cuenta relaciones de reducciones y eventuales ecuaciones de acoplamiento. Es efectivamente corriente que el desplazamiento de un eje sea el resultado del control de dos o varios motores.
- 25 **[0005]** En la medida en que cada robot comprende características cinemáticas específicas, es necesario incorporar a la central de control características inherentes al tipo de robot utilizado tales como el modelo cinemático inverso y el modelo cinemático de las transmisiones. Esto tiene como efecto hacer que los programas incorporados en la central de control sean relativamente complejos y poco versátiles puesto que deben ser modificados si el tipo de robot utilizado cambia.
- 30 **[0006]** Además, los programas llevados a cabo por la central de control deben tratar las restricciones de funcionamiento ligadas a la especificidad de un brazo de robot que hace que cada orden o acontecimiento relativo a un motor pueda necesitar un tratamiento que implique los otros motores del brazo de robot. Por ejemplo, en caso de fallo de uno de los motores del brazo de robot, los otros motores deben pararse y el conjunto de los motores del brazo de robot debe ser declarado fuera de servicio.
- 35 **[0007]** A estos inconvenientes pretende dar remedio la invención proponiendo un nuevo procedimiento de control de una célula de trabajo automatizada, que permite simplificar la programación de la central de control, mejorar la velocidad de comunicación con los diferentes controladores de ejes así como mejorar la precisión del control del robot.
- 40 **[0008]** A tal efecto, la invención se refiere a un procedimiento de control de una célula de trabajo automatizada, que incluye al menos un brazo de robot con al menos tres grados de libertad pilotados según varios ejes de control, una central de control, un dispositivo de control del brazo de robot, que incluye varios controladores de motores que pilotan cada uno el funcionamiento de un motor adaptado para maniobrar al menos una parte del brazo de robot, y un bus de comunicación entre la central de control y el dispositivo de control del brazo de robot. Este procedimiento se caracteriza por el hecho de que comprende las etapas siguientes:
- 45 a) asociar a cada eje de control de movimiento del brazo de robot un controlador de eje ficticio que se supone que recibe de las consignas y pilotar al menos un motor en función de estas consignas ;
- 50 b) determinar, al nivel de la central de control para cada eje de control de movimiento del brazo de robot, unas consignas destinadas al controlador de eje ficticio correspondiente a cada uno de estos ejes;
- 55 c) transmitir las consignas, determinadas en la etapa b) a una única unidad de cálculo que pertenece al dispositivo de control del brazo de robot;
- 60 **[0009]** El pilotaje de un brazo de robot se basa en la identificación de ejes de control de movimiento, es decir de las magnitudes geométricas tales como longitudes o ángulos que permiten expresar el movimiento del extremo del brazo de robot.
- 65 **[0010]** Gracias a la invención, el programador de la central de control puede considerar cada uno de los ejes de control de movimiento del brazo de robot como un eje independiente con el cual se comunica de la misma manera que con un controlador de eje de otro motor que no formaría parte de un brazo de robot. La presencia de la unidad

de cálculo en el dispositivo de control del robot permite simplificar la programación de la central de control, en la medida en que esta no tiene que incorporar datos específicos a cada brazos de robot y no debe gestionar la comunicación con cada uno de los controladores de motores.

5 **[0011]** Según una primera posibilidad, cada eje de control de movimiento del brazo de robot corresponde a un grado de libertad del brazo de robot. Se dispensa de este modo al programador de la central de cálculo del conocimiento del modelo cinemático de las transmisiones.

10 **[0012]** Según una segunda posibilidad, cada eje de control de movimiento del brazo de robot corresponde a un eje cartesiano o una rotación correspondiente de desplazamiento del extremo del brazo de robot. Se dispensa entonces al programador de la central de control del conocimiento del modelo geométrico inverso del brazo de robot. Este modelo se aplica al nivel de la unidad de cálculo que pertenece al dispositivo de control del brazo de robot. El programador puede concebir cambiar de tipo de brazos de robot sin tener que actualizar un modelo cinemático inverso realizado por la central de control.

15 **[0013]** Según características ventajosas pero no obligatorias de la invención, este procedimiento de control puede incorporar una o varias de las características siguientes, que se pueden combinar siempre que sea técnicamente posible:

20 - el procedimiento comprende etapas suplementarias consistentes en

d) determinar, en el seno de la unidad de cálculo y a partir de las consignas recibidas de la central de control, unas órdenes para el motor pilotado por cada controlador de motor;

25 e) transmitir a cada controlador de motor una orden, determinada en la etapa d), para el motor pilotado por este controlador de motor. Como la determinación de las consignas que incluyen los cálculos de las órdenes de movimiento para cada uno de los motores del robot se realiza, en la unidad de cálculo que pertenece al dispositivo de control del robot, teniendo en cuenta el conjunto de las consignas emitidas por la central de control, se puede optimizar el funcionamiento del robot y de la célula de trabajo robotizada. Además, la unidad de cálculo emplea los tratamientos impuestos por la especificidad de un brazo de robot. De este modo, le ahorra al programador de la célula de la central de control la necesidad de incorporar procesos de parada o de arranque sofisticados propios de los conocimientos hacer de los técnicos en robótica.

- el procedimiento comprende etapas suplementarias consistentes en:

35 f) transmitir, a partir de cada controlador de motor y con destino a la unidad de cálculo, la posición del motor que pilota;

g) calcular, en el seno de la unidad de cálculo y a partir del conjunto de las posiciones de los motores, las posiciones de cada uno de los ejes de control de movimiento del brazo de robot; y

40 h) transmitir a la central de control las posiciones de cada uno de los ejes de control calculadas en la etapa g).

- el procedimiento comprende etapas suplementarias consistentes en

i) calcular, en el seno de la unidad de cálculo y a partir del conjunto de las posiciones de los motores, la velocidad cartesiana de un punto característico;

45 j) comparar la velocidad cartesiana calculada con un valor umbral;

k) transmitir a partir de la unidad de cálculo y con destino a la central de control una señal de alerta si la velocidad cartesiana es superior al valor umbral.

50 - Ventajosamente, la unidad de cálculo tiene en cuenta en el cálculo de la etapa g) datos de medida de las posiciones de los motores y de la fecha de la transmisión a la central de control de las posiciones de cada uno de los ejes de control del brazo de robot para corregir las posiciones de los ejes de control de movimiento del brazo de robot en función del movimiento supuesto del brazo de robot. La unidad de cálculo mejora así su sincronización con la central de control.

55 - En la etapa d) se calculan órdenes de movimientos que comprenden las posiciones a alcanzar para cada motor para respetar las consignas emitidas por la central de control.

- En la etapa d), el cálculo de las órdenes de movimientos para cada motor se acompaña con una previsión del par a suministrar para cada motor, a partir de las consignas emitidas por la central de control.

- Las consignas emitidas por la central de control contienen informaciones acerca de la carga transportada para al menos un eje de control de movimiento.

60 - Las posiciones a alcanzar para cada motor para respetar las consignas emitidas por la central de control incluyen una compensación de las deformaciones del brazo de robot calculada a partir de al menos una parte de las previsiones de par.

- el procedimiento comprende una etapa consistente en:

l) transmitir a la central de control una señal representativa del estado de puesta en tensión del robot, en la cual el robot, se declara como listo para funcionar o se pone fuera de tensión, solamente si todos los motores se ponen en tensión o se ponen fuera de tensión y se frenan respectivamente.

5 - el procedimiento comprende una etapa consistente en:

m) transmitir, a partir de la unidad de cálculo y con destino a la central de control, una señal representativa del estado de funcionamiento de todas las partes del robot, en la cual todas las partes del robot se declaran como estando en fallo, si al menos una de estas partes se detecta como que no funciona.

10 - el bus soporta un modo de comunicación síncrono.

- el bus funciona en un modelo de interfaz de tipo SERCOS.

- La central de control se comunica con los controladores de ejes ficticios asociados a los ejes de control de movimiento del brazo de robot utilizando los comandos del perfil de material « Profile drive ». Estos comandos estándar asociados al perfil de material « profile drive » se utilizan ampliamente para la programación de los controladores de eje aislados. El programador no tiene que desarrollar o utilizar comandos específicas para utilizar un brazo de robot en una célula de trabajo automatizada.

20 **[0014]** La invención se comprenderá mejor y otras ventajas de esta aparecerán más claramente a la luz de la descripción siguiente de un procedimiento de control de una célula de trabajo automatizada conforme a su principio, determinada únicamente a título de ejemplo y hecha con referencia a los dibujos adjuntos en los cuales:

- la figura 1 es un esquema estructural de una célula de trabajo automatizada que lleva a cabo un procedimiento de control conforme a la invención;

25 - la figura 2 es un esquema funcional de principio que hace aparecer las funciones principales y los flujos de comunicación en relación con el procedimiento de control conforme a la invención.

[0015] Tal como se ha representado en la figura 1, una célula de trabajo automatizada 2 comprende un brazo de robot 4, un dispositivo 6 de control del brazo de robot 4, una central de control 8 así como dos accionadores eléctricos parcialmente representados. El brazo de robot 4 está aquí constituido por un brazo robotizado con seis ejes referenciados A1 a A6. El término « eje » se utiliza aquí en el sentido robótico, es decir se refiere a un grado de libertad. En este caso, los grados de libertad o ejes A1 a A6 son rotaciones.

35 **[0016]** El dispositivo 6 de control del robot está dispuesto a proximidad del brazo de robot 4 y comprende seis controladores de motores 61 a 66. Cada uno de estos controladores de motores 61 a 66 está adaptado para pilotar el funcionamiento de un motor M1 a M6 capaz de maniobrar una parte del brazo de robot 4.

40 **[0017]** El accionamiento del motor M1 permite la rotación de conjunto de la parte del brazo de robot 4 situada entre el eje A1 y el extremo móvil del brazo de robot 4 sin que ningún otro eje gire sobre sí mismo. Asimismo, el accionamiento de los motores M2, M3, M4 y M6 permiten respectivamente la rotación aislada de los ejes A2, A3, A4 y A6. En cambio, el accionamiento del motor M5 tiene por consecuencia la rotación de los ejes A5 y A6. Hay un acoplamiento entre los ejes A5 y A6 y una rotación aislada del eje A5 requiere el accionamiento de los motores M5 y M6. Cada uno de los motores M1 a M6 está dotado de un codificador 12 colocado en el árbol del motor, que permite medir la posición angular del árbol del motor y de suministrar una señal eléctrica S_{12i}, para i entero entre 1 y 6, que contiene la información de esta posición. Cada uno de los dos accionadores eléctricos está maniobrado por un motor M21 y M22, siendo cada uno de estos motores respectivamente pilotado por un controlador de eje 121 y 122 y asociado con un codificador 12 que suministra una señal de posición S₁₂₂₁ o S₁₂₂₂.

50 **[0018]** Tal como se ha representado esquemáticamente en la figura 2, la central de control 8 controla el funcionamiento de la célula automatizada 2 a partir de programas 30 creados por unos usuarios para la realización de acciones precisas, como por ejemplo el ensamblado de un objeto que necesita movimientos del brazo de robot 4 y eventuales acciones de un agarrador o de un convoyador que comprende los accionadores eléctricos maniobrados por los motores M21 y M22. Por ejemplo, estos programas pueden contener sucesiones de coordenadas cartesianas a alcanzar por el extremo del brazo de robot 4.

55 **[0019]** Como variante, las acciones pueden ser decididas en tiempo real por el usuario a partir de un panel de control 32 fijo o portátil accesible al usuario o al programador de la célula de trabajo automatizada 2.

60 **[0020]** La central de control 8 se comunica con el dispositivo de control 6 mediante un bus de terreno 14, que funcionan preferentemente en el modelo de interfaz tiempo real serie SERCOS III. La central de control 8 es « maestra » mientras que el dispositivo de control 6 es « esclavo ».

[0021] El dispositivo de control 6 comprende una tarjeta de comunicación 60 dedicada a la comunicación con la central de control 8 mediante el bus de terreno 14.

65 **[0022]** El dispositivo de control 6 comprende también una unidad de cálculo 10, cuya función es la de asegurar la elaboración y la transmisión de consignas tales como las órdenes de movimientos o de puesta en tensión hacia los

controladores de motores 61 a 66. La unidad de cálculo 10 comprende en especial a tal efecto unos microprocesadores y memorias. La unidad de cálculo 10 está adaptada para comunicarse con cada uno de los controladores de motores 61 a 66. De esta manera, cada transmisión de datos entre los controladores de motores 61 a 66 y la central de control 8 está gestionada por la unidad de cálculo 10, tanto como de los controladores de motores hacia la central que de la central hacia los controladores de motores.

[0023] Los ejes de control del brazo de robot 4 se escogen como siendo los ejes A1 a A6 que corresponden a los grados de libertad del brazo de robot 4.

[0024] Durante la fase de inicialización propia del modelo de interfaz SERCOS III, la comunicación se define de manera que cada eje A1 a A6 del brazo de robot 4 está asociado con un controlador de eje ficticio. Estos controladores de ejes ficticios están destinados a recibir consignas de la central de control 8, de la misma manera que unos controladores de ejes genéricos y pilotar al menos un motor a partir de estas consignas. Se declaran como conformes al perfil de material « perfil drive » que define un conjunto de controles para la configuración, el pilotaje, la interrogación de los estados y de las posiciones, el diagnóstico y la supervisión. Las consignas elaboradas por la central de control 8 a partir de las órdenes asociadas al perfil de material « perfil drive » y explotables por los controladores de eje ficticios son recibidas por la unidad de cálculo 10. A cada controlador de eje ficticio se le atribuye una dirección al mismo título que los dos controladores de eje 121 y 122 que controlan los accionadores exteriores al brazo de robot 4 y presentes en la célula de trabajo automatizada 2.

[0025] El procedimiento de control según la invención se aplica a la fase de puesta en tensión de todos los motores del brazo de robot 4 previamente a cualquier operación del brazo de robot de la célula de trabajo automatizada 2. Esta puesta en tensión se inicia por parte de la central de control 8 que emite por el bus 14 uno o varios telegramas de datos maestros que comprenden unas consignas C_{0i} , con i entre 1 y 6, de puesta en tensión de cada uno de los ejes A1 a A6. La tarjeta de comunicación 60 del dispositivo de control 6 capta estos telegramas. Direcciona entonces unas solicitudes de interrupción a la unidad de cálculo 10 que recupera estos telegramas, extrae de ellos las consignas C_{0i} para cada uno de los ejes A1 a A6 del brazo de robot 4 y procede a su tratamiento. El protocolo de interfaz SERCOS III prevé que cada uno de los dispositivos conectados por el bus 14 se le instruye con la localización de los datos que le conciernen en un telegrama de datos maestros. La unidad de cálculo 10 graba las consignas de puesta en tensión y emite un telegrama de respuesta con destino a la central de control 8 en el cual los ejes implicados por la consigna se declaran como estando puestos en tensión. Los motores no se ponen realmente en tensión ni los frenos se sueltan hasta recepción de la última consigna de puesta en tensión emitida por la central de control 8. Unas órdenes de puesta en tensión O_{2i} , con i entre 1 y 6, para cada motor M1 a M6 son enviadas por la unidad de cálculo 10 a cada controlador de motor 61 a 66. Cuando todos los motores se ponen en tensión y cuando la unidad de cálculo 10 ha recibido de los controladores de motores 61 a 66 la información de que cada uno de los motores M1 a M6 está en tensión, un telegrama T_0 , que indica a la central de control 8 que el último eje está listo para funcionar, es emitido por la unidad de cálculo 10, a través de la tarjeta 60.

[0026] Para el programador de la central de control 8, las órdenes de puesta en tensión de los motores M1 a M6 de los ejes A1 a A6 del brazo de robot 4 son semejantes a aquellas de puesta en tensión de los otros motores M21 y M22 llevado a cabo en la célula automatizada 2 puesto que los ejes del brazo de robot 4 y los otros dos ejes son conocidos de la central de control 8 como conformes al perfil de material « Profile drive ». Como la unidad de cálculo 10 considera el conjunto de las consignas destinadas a cada uno de los ejes A1 a A6 del brazo de robot 4 para gestionar la puesta en tensión de los diferentes motores, se simplifica la programación de la central de control 8.

[0027] Cuando la célula automatizada 2 realiza el proceso que automatiza, la central de control 8 ejecuta un programa de funcionamiento 30 que contiene órdenes de movimiento que el robot debe ejecutar. En cada ciclo de comunicación, las consignas de movimiento C_{1i} , con i entre 1 y 6 para cada eje A1 a A6 asociado con un controlador de eje ficticio del brazo de robot 4 son calculadas por un generador de trayectoria 34 que emplea un modelo geométrico inverso 36 cuando las órdenes de movimiento del brazo de robot 4 expresan las coordenadas cartesianas de un desplazamiento de su extremo. De acuerdo con el protocolo de interfaz SERCOS III, para cada ciclo de comunicación definido, la totalidad de las consignas C_{1i} de movimientos de ejes es enviada por el bus en forma de un telegrama de datos maestros $T_1(C_{1i})$. La tarjeta de comunicación 60 recibe este telegrama. Direcciona entonces una solicitud de interrupción a la unidad de cálculo 10 que recupera el telegrama, extrae de ellos las consignas C_{1i} de movimientos de ejes y procede a su tratamiento.

[0028] Durante este tratamiento, la unidad de cálculo 10 calcula órdenes de movimientos O_{1i} , con i entre 1 y 6, para cada uno de los motores M1 a M6 pilotados por los controladores de motores 61 a 66. Las órdenes de movimientos O_{1i} para cada uno de los motores se calculan a partir del conjunto de las consignas C_{1i} recibidas provenientes de la central de control 8 aplicando el modelo cinemático de las transmisiones 38. Estas órdenes comprenden las posiciones a alcanzar para los motores. El cálculo considera entonces el acoplamiento existente entre el eje A5 y el eje A6, necesitando el movimiento del eje A5 la realización de los motores M5 y M6. El cálculo de las órdenes de movimiento O_{1i} para cada motor también considera relaciones de reducción entre los motores y los ejes de rotación de robot.

[0029] Las órdenes de movimientos O_{1i} para cada motor M1 a M6 son transmitidas al controlador de motores 61 a 66 de cada uno de los motores que, se encargan de determinar y de regular la corriente de alimentación de las fases de los motores.

5 **[0030]** La posición angular de los árboles de cada motor se detecta Gracias al codificador 12 colocado en el árbol de cada motor. Esta información transmitida a cada controlador de motor en forma de señales S_{121} a S_{126} permite el control 48 de la corriente de alimentación de las fases de los motores.

10 **[0031]** La unidad de cálculo 10 dispone también a través de sus conexiones con los controladores de motores 61 a 66 de la posición angular de los árboles de cada motor del brazo de robot 4 y calcula las posiciones angulares P_i , con i entero entre 1 y 6, de las partes móviles alrededor de los ejes A1 a A6 del brazo de robot 4 aplicando un modelo cinemático inverso de las transmisiones 40. Debido al acoplamiento de los ejes A5 y A6, las posiciones angulares de los árboles de los motores M5 y M6 intervienen en la determinación de la posición angular P_6 del eje A6. La unidad de cálculo 10 puede también, a partir de las medidas, calcular las velocidades de rotación de las partes móviles alrededor de los ejes del robot, los pares suministrados durante estos movimientos, o cualquier otro dato útil.

20 **[0032]** A partir de este momento y según el protocolo de comunicación SERCOS III, en cada ciclo de comunicación síncrono, la unidad de cálculo 10 del robot elabora un telegrama de datos T_1 que contiene las posiciones angulares P_i de los ejes del brazo de robot 4 y lo transmite a la central de control 8 a través de la tarjeta de comunicación 60. Estas informaciones están entonces explotables por el programa 30 que rige el funcionamiento de la célula automatizada 2. La central de control 8 puede aplicar un modelo geométrico directo 42 para obtener por ejemplo la posición cartesiana P_c del extremo del brazo de robot 4 que podrá a continuación mostrarse en el panel de control 32.

25 **[0033]** La unidad de cálculo 10 puede calcular la posición cartesiana de al menos un punto característico B, por ejemplo situado en una brida de herramienta 400 en el extremo del brazo de robot 4, a partir de las posiciones angulares P_i , con i entero entre 1 y 6, de las partes móviles alrededor de los ejes A1 a A6 del brazo de robot 4 y deducir de esta la velocidad cartesiana $V(B)$ de este punto característico. Una comparación con un umbral predefinido es hecha al nivel de la unidad de cálculo 10. Si el valor de velocidad cartesiana $V(B)$ de este punto característico B es mayor que este umbral, la unidad de cálculo 10 emite una orden de parada con destino a todos los controladores de motor 61 a 66 y envía a la central de control 8, un telegrama para indicar el error.

30 **[0034]** Como variante, la unidad de cálculo 10 calcula la velocidad cartesiana $V(B)$ del punto característico a partir de las consignas de movimiento C_{1i} , con i entre 1 y 6 para cada eje A1 a A6 asociado con un controlador de eje ficticio del brazo de robot 4.

35 **[0035]** el comportamiento del brazo de robot 4 se mejora sensiblemente si el control de cada motor tiene en cuenta una predicción del par F_i , con i entre 1 y 6, aplicado a las articulaciones debido a la gravedad o a las fuerzas de inercia. Esta predicción de par F_i es establecida para cada motor del brazo de robot 4 al nivel de la unidad de cálculo 10 que emplea un modelo dinámico 44. El modelo dinámico se basa en el conocimiento de las consignas de movimiento C_{1i} de cada eje que permiten evaluar las aceleraciones requeridas al nivel de cada parte del brazo de robot 4. Teniendo en cuenta la estructura del brazo de robot 4, la predicción del par F_i en el árbol de cada motor del brazo de robot 4 debe tener en cuenta las consignas de movimiento C_{1i} de todos los ejes A1 a A6. Una vez establecida la predicción de par F_i , se traduce en consigna de corriente aplicando los datos o « constantes » 46 de los motores y transmitida a los controladores de motores 61 a 66 para ser incorporada a la entrada de los bucles de control 50 de las corrientes de alimentación de las fases de los motores.

40 **[0036]** Según una variante, el cálculo de la previsión del par F_i a suministrar al nivel de cada articulación puede utilizar también las posiciones angulares P_i de los ejes del brazo de robot 4.

45 **[0037]** La predicción del par F_i , con i entre 1 y 6, aplicada a las articulaciones es aún más precisa porque tiene en cuenta las cargas a transportar por el brazo de robot 4. Cada carga se caracteriza por una masa, la posición de su centro de gravedad y su matriz de inercia y también el grado de libertad al cual está restringida. El programador de la central de control 8 puede declarar las cargas transportadas con respecto a cada eje de control de movimiento del brazo de robot 4. Por ejemplo, para una carga transportada al nivel de la brida de herramienta 400, declarará una carga a través de los comandos dedicados al eje de control A6. Para una carga transportada al nivel de la parte delantera del brazo 402, declarará una carga a través de los comandos dedicados al eje de control A4. Estas declaraciones de carga transportadas pueden hacerse de manera asíncrona, es decir sin comunicación cíclica entre la central de control 8 y la unidad de cálculo 10. También pueden hacerse de manera síncrona, lo cual permite hacer variar la carga transportada en cada orden enviada por la central de control 8 y adaptar el pilotaje del brazo de robot 4 a una secuencia de movimientos en el transcurso de la cual el brazo de robot capturará y transportará una carga antes de soltarla y emprender otro desplazamiento.

50 **[0038]** el procedimiento según la invención permite tener en cuenta cargas transportadas al nivel de la unidad de cálculo 10 de tal manera que pueda simplificar la formación de la central de control 8.

[0039] El procedimiento según la invención también permite una mejora de la precisión de la trayectoria de una herramienta no representada colocada en el extremo del brazo de robot 4 teniendo en cuenta las deformaciones del brazo de robot bajo el efecto de la carga. Estas deformaciones pueden ser resultado de la flexibilidad de los elementos de estructura como los brazos o los elementos de transmisión tales como las correas o los reductores. A partir de las consignas de movimiento de cada eje, el modelo dinámico 44 predice cada par F_i , con i entre 1 y 6, aplicado a las articulaciones debido a la gravedad y a las fuerzas de inercia. Estos pares F_i permiten obtener, aplicando una matriz de flexibilidad propia del brazo de robot 4, las desviaciones articulares Δ_i , con i entre 1 y 6, debidas a las deformaciones. Como las desviaciones articulares Δ_i permiten aportar una compensación a las deformaciones del brazo de robot 4, se añaden entonces a las consignas de movimiento de cada eje y por lo tanto se consideran en el cálculo de las órdenes de movimiento O_{1i} , con i entre 1 y 6, para cada uno de los motores M1 a M6 pilotados por los controladores de motor 61 a 66.

[0040] Estas desviaciones articulares Δ_i también se restan a las posiciones angulares P_i , con i entero entre 1 y 6, de las partes móviles alrededor de los ejes A1 a A6 del brazo de robot 4, que provienen de la aplicación del modelo cinemático inverso de transmisión 40 a las posiciones angulares de los árboles de cada motor del brazo de robot 4.

[0041] Como variante, el cálculo de las desviaciones articulares Δ_i puede establecerse considerando solamente la parte de los pares F_i correspondiente a la gravedad, es decir a las fuerzas estáticas.

[0042] El procedimiento según la invención también considera los eventuales defectos de funcionamiento de cada una de las partes del robot 4. La unidad de cálculo 10 del dispositivo de control 6 del brazo de robot 4 supervisa el funcionamiento del conjunto de los controladores de motores 61 a 66. Emplea programas que permiten detectar los defectos de funcionamiento al nivel de los controladores de motores 61 a 66, de los motores M1 a M6 o de los codificadores 12. En el caso en que se produce una avería del motor, la unidad de cálculo 10 procede a la parada de todos los otros motores del brazo de robot 4 y ordena la emisión, con destino a la central de control 8, de un telegrama de datos T2 en el cual no solamente el eje cuya rotación es normalmente permitida por el motor en cuestión se declara como estando en fallo de funcionamiento, sino también todos los ejes del brazo de robot 4. Dicho de otro modo, un fallo de funcionamiento en uno de los ejes del brazo de robot 4 provoca la declaración de la imposibilidad de funcionar del conjunto del brazo de robot. Esta información es enviada a la central de control 8.

[0043] En la medida en que la central de control 8 no tiene que gestionar la puesta en fallo de todos los ejes del robot, se simplifica su programación. Ello permite evitar la comunicación entre cada controlador de motores 61 a 66 y la central de control 8, lo cual acelera el tratamiento de los defectos y mejora la puesta en seguridad del brazo de robot 4.

[0044] Tal como se acaba de describir, la unidad de cálculo 10 garantiza la coherencia del comportamiento del brazo de robot 4 en caso de fallo en uno de los ejes A1 a A6. Lo mismo ocurre con la puesta bajo tensión de uno de los ejes del brazo de robot 4. Cada uno de los motores M1 a M6 debe entonces necesariamente ser puesto fuera de tensión. Además, por razones de seguridad, la puesta bajo tensión de un motor debe ser precedida por el apriete de frenos que permite parar la rotación de los motores. La consigna de puesta bajo tensión del brazo de robot 4 proveniente de la central de control 8 es aplicada por la unidad de cálculo 10 a cada uno de los controladores de motores. A partir del momento en que una consigna de puesta bajo tensión de uno de los ejes A_i , con i entero entre 1 y 6 del brazo de robot 4, es detectada por la unidad de cálculo 10, esta consigna se generaliza a todos los motores M1 a M6 del brazo de robot 4. La unidad de cálculo 10 envía entonces a cada controlador de motor 61 a 66 una orden O'_i , con i entre 1 y 6, de puesta bajo tensión de los motores M1 a M6. Durante el corte efectivo de la corriente, la unidad de cálculo 10 se asegura de que los árboles de cada uno de los motores del brazo de robot 4 se han frenado efectivamente con la finalidad de evitar cualquier accidente. Cuando todas las verificaciones han sido efectuadas, la unidad de cálculo 10, emite, un telegrama T3 que especifica a la central de control 8 que todos los ejes A_i , con i entero entre 1 y 6, del brazo de robot 4 han sido puestos fuera de tensión.

[0045] el procedimiento de la invención permite la mejora de la sincronización de los movimientos gestionados por la central de control 8. Se basa en un modelo de comunicación cliente-servidor en el cual la central de control 8 es el servidor. El bus 14 permite un modo de comunicación síncrono. La comunicación entre la central de control 8 y el dispositivo de control 6 del brazo de robot 4 mediante el bus 14 se hace a una frecuencia, llamada frecuencia de comunicación, cuyo valor está adaptada al número de dispositivos, tales como los controladores de motores, a controlar.

[0046] La unidad de cálculo 10 funciona a una frecuencia, llamada frecuencia de control, cuyo valor es más elevado que la de la frecuencia de comunicación.

[0047] El control efectuado en el seno de un controlador de motores 61 a 66 se hace a una frecuencia, llamada frecuencia de sometimiento, cuyo valor es más elevado que la de la frecuencia de control. Son necesarios entonces unos cálculos entre cada transmisión de orden de movimiento O_{1i} para los motores de la unidad de cálculo 10 al controlador de motor. Estos cálculos se realizan, en el seno de cada controlador de motores 61 a 66.

[0048] El programa de funcionamiento de la célula de trabajo automatizada 2 llevado a cabo por la central de control 8 genera unas consignas C_{1i} y necesita el conocimiento de las posiciones angulares P_i de los ejes del brazo de robot 4. En cada transmisión de consigna C_{1i} , la central de control 8 solicita las posiciones angulares de cada uno de los ejes del brazo de robot 4. La unidad de cálculo 10 dispone de las posiciones de los árboles de cada motor gracias a los codificadores 12. Le vienen de los controladores de motores 61 a 66 y le permiten calcular las posiciones angulares P_i de los ejes del brazo de robot 4 aplicando el modelo cinemático inverso de las transmisiones 40. Estos tratamientos y estas transmisiones de datos generan unos retardos susceptibles de de-sincronizar la unidad de cálculo 10 y la central de control 8. Para evitar esta desincronización, la unidad de cálculo 10 fecha las informaciones de posición angular provenientes de los controladores de motores 61 a 66. Cada medida de la posición angular del árbol del motor detectada por los codificadores 12 está por lo tanto asociada a una fecha de medida. Como la comunicación por el bus 14 es de tipo síncrono, la unidad de cálculo 10 sabe en qué momento deberá emitir los valores de posición angular P_i de los ejes del brazo de robot 4 a demanda de la central de control 8. Se corrigen entonces en función de la fecha de medida, en función del movimiento supuesto del brazo del robot 4 en el momento de la medida y del intervalo de tiempo que separa la fecha de medida de la fecha de transmisión a la central de control 8. La unidad de cálculo 10 efectúa una sincronización.

[0049] Como variante, el procedimiento de control según la invención puede utilizar un bus que lleva un modo de comunicación asíncrono.

[0050] En otra variante, el procedimiento según la invención puede ser llevado a cabo con un bus CAN (Controller area network) que integra una capa aplicativa CANopen. Es también compatible con los protocolos de comunicación Powerlink y EtherCAT.

[0051] Según otra variante, los ejes de control de movimiento del brazo de robot 4 se escogen como siendo los ejes cartesianos X, Y, Z, y las rotaciones correspondientes R_x , R_y , R_z en lugar de los ejes A1 a A6 del brazo de robot 4. El programador de la central de control 8 expresa entonces los desplazamientos deseados del extremo del brazo de robot 4 según 3 direcciones X, Y y Z y la orientación del extremo del brazo de robot 4 según las rotaciones R_x , R_y y R_z alrededor de los ejes X, Y y Z. En este caso, la central de control 8 transmite al dispositivo de control 6 del brazo de robot 4 de las posiciones cartesianas a alcanzar. Cela permite simplificar la programación de la central de control 8, en la medida en que no es necesario incluir en esta las características específicas del robot controlado. La unidad de cálculo 10 incorpora el modelo geométrico inverso del brazo de robot 4 y lo emplea para determinar las consignas de desplazamiento con destino a controladores de motores 61 a 66. Asimismo, la unidad de cálculo 10 incorpora y emplea el modelo geométrico directo que permite calcular antes de transmitir a la central de control 8 las posiciones de los ejes de control de movimiento X, Y, Z, y las rotaciones correspondientes R_x , R_y , R_z a partir de las posiciones angulares de los árboles de cada motor del brazo de robot 4.

[0052] La invención no se limita a la utilización de un robot con 6 grados de libertad y se puede aplicar por ejemplo a unos robots con 7 grados de libertad. En este caso, el programador podrá ventajosamente escoger como ejes de control de movimiento los ejes cartesianos X, Y, Z, y las rotaciones correspondientes R_x , R_y , R_z de desplazamiento del extremo del brazo de robot. La unidad de cálculo del dispositivo de control del brazo de robot llevará a cabo el modelo geométrico inverso sofisticado que permite resolver las redundancias.

[0053] La invención se ha descrito con un dispositivo de control del robot 6 que comprende una tarjeta de comunicación 60, una unidad de cálculo 10 y de los controladores de motores 61 a 66. La unidad de cálculo 10 es capaz de tratar las informaciones provenientes de la central de control 8 y generar de las consignas de desplazamiento con destino a controladores de motores 61 a 66. Estos controladores de motores 61 a 66 son funcionalmente asimilables a unos controladores de eje usuales tales como los controladores de eje 121 y 122. Reciben consignas de posición y garantizan el pilotaje controlado de las corrientes que alimentan las fases de los accionadores eléctricos. Sin embargo, la invención se aplica también a una estructura que emplea una unidad de cálculo directamente capaz de generar las consignas de corriente con destino a tarjetas de potencia no representadas. Estas tarjetas de potencia son capaces de controlar las corrientes que circulan por las fases de uno o varios accionadores eléctricos. La invención no se limita por la estructura del dispositivo de control 6 del brazo de robot 4.

[0054] Según una variante de la invención, las órdenes para cada uno de los motores M1 a M6 pilotado por un controlador de motor se determinan a partir de varias, y no del conjunto, unas consignas C_{1i} , con i entero entre 1 y 6, recibidas de la central de control 8.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de control de una célula de trabajo (2) automatizada que comprende

- 5 - al menos un brazo de robot (4) con al menos tres grados de libertad pilotados según varios ejes de control (A1-A6; X, Y, Z, Rx, Ry, Rz),
 - una central de control (8),
 - un dispositivo (6) de control del brazo de robot (4), que incluye varios controladores de motor (61-66) que pilotan cada uno el funcionamiento de un motor (M1-M6) adaptado para maniobrar al menos una parte del brazo de robot (4),
 10 - un bus (14) de comunicación entre la central de control (8) y el dispositivo de control del brazo de robot (4),
caracterizado por el hecho de que este procedimiento comprende etapas consistentes en:
- 15 a) asociar a cada eje de control de movimiento (A1-A6; X, Y, Z, Rx, Ry, Rz) del brazo de robot (4) un controlador de eje ficticio que se supone que recibe consignas y pilotar al menos un motor en función de estas consignas ;
 b) determinar, al nivel de la central de control (8) y para cada eje de control de movimiento (A1-A6; X, Y, Z, Rx, Ry, Rz) del brazo de robot (4), unas consignas (C_{1i}) destinadas al controlador de eje ficticio correspondiente a cada uno de estos ejes;
 20 c) transmitir las consignas (C_{1i}) determinadas en la etapa b) a una única unidad de cálculo (10) que pertenece al dispositivo (6) de control del brazo de robot (4) .

2. Procedimiento de control según la reivindicación 1, **caracterizado por el hecho de que** cada eje de control de movimiento del brazo de robot (4) le corresponde un grado de libertad (A1-A6) del brazo de robot.

- 25 3. Procedimiento de control según la reivindicación 1, **caracterizado por el hecho de que** cada eje de control de movimiento del brazo de robot (4) corresponde a un eje cartesiano (X, Y, Z) o una rotación correspondiente (Rx, Ry, Rz) de desplazamiento del extremo del brazo de robot.

- 30 4. Procedimiento de control según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por el hecho de que** comprende etapas suplementarias consistentes en:

- d) determinar en el seno de la unidad de cálculo (10) y a partir de las consignas (C_{1i}) recibidas de la central de control (8), unas órdenes (O_{1i}, O_{2i}, O_i) para el motor (M1-M6) pilotado por cada controlador de motor (61-66);
 35 e) transmitir a cada controlador de motor (61-66) una orden (O_{1i}, O_{2i}, O_i), determinada en la etapa d), para el motor (M1-M6) pilotado por este controlador de motor.

5. Procedimiento de control según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por el hecho de que** comprende etapas suplementarias consistentes en:

- 40 f) transmitir a partir de cada controlador de e la unidad de cálculo (10) y a partir del conjunto de las posiciones de los motores, las posiciones (P_i) de cada uno de los ejes de control de movimiento del brazo de robot (4); h) transmitir a la central de control (8) las posiciones (P_i) de cada uno de los ejes de control calculadas en la etapa g).

- 45 6. Procedimiento de control según la reivindicación 5, **caracterizado por el hecho de que** comprende etapas suplementarias consistentes en:

- i) calcular, en el seno de la unidad de cálculo (10) y a partir del conjunto de las posiciones de los motores, la velocidad cartesiana (V(B)) de un punto característico (B);
 j) comparar la velocidad cartesiana (V(B)) calculada con un valor umbral;
 50 k) transmitir a partir de la unidad de cálculo (10) y con destino a la central de control (8) una señal de alerta si la velocidad cartesiana (V(B)) es superior al valor umbral.

7. Procedimiento de control según la reivindicación 5, **caracterizado por el hecho de que** la unidad de cálculo (10) tiene en cuenta en el cálculo de la etapa g) datos de medida de las posiciones de los motores (M1-M6) y de la fecha de la transmisión a la central de control (8) de las posiciones (P_i) de cada uno de los ejes de control de movimiento del brazo de robot (4) para corregir las posiciones (P_i) de los ejes de control de movimiento en función del movimiento supuesto del brazo de robot (4).
 55

8. Procedimiento de control según la reivindicación 4, **caracterizado por el hecho de que** en la etapa d) se calculan unas órdenes de movimientos (O_{1i}) que comprende las posiciones a alcanzar para cada motor (M1-M6) para respetar las consignas (C_{1i}) emitidas por la central de control (8).
 60

9. Procedimiento de control según la reivindicación 8, **caracterizado por el hecho de que** en la etapa d), el cálculo de las órdenes de movimientos (O_{1i}) para cada motor (M1-M6) se acompaña con una previsión (F_i) del par a suministrar para cada motor, a partir de las consignas (C_{1i}) emitidas por la central de control (8).
 65

10. Procedimiento de control según la reivindicación 9, **caracterizado por el hecho de que** las consignas (C1i) emitidas por la central de control (8) contienen informaciones acerca de la carga transportada para al menos un eje de control de movimiento (A1-A6).
- 5 11. Procedimiento de control según cualquiera de las reivindicaciones 9 y 10, **caracterizado por el hecho de que** las posiciones a alcanzar para cada motor (M1-M6) para respetar las consignas (C1i) emitidas por la central de control (8) incluyen una compensación (⊗i) de las deformaciones del brazo de robot (4) calculada a partir de al menos una parte de las previsiones de par (Fi).
- 10 12. Procedimiento de control según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por el hecho de que** comprende una etapa consistente en:
- 15 l) transmitir a la central de control (8) una señal (T0, T3) representativa del estado de puesta en tensión del brazo de robot (4), en el cual el brazo de robot (4) respectivamente se declara como listo para funcionar o se pone fuera de tensión solamente si todos los motores (M1-M6) se ponen en tensión o se ponen fuera de tensión y se frenan.
- 15 13. Procedimiento de control según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por el hecho de que** comprende una etapa consistente en:
- 20 m) transmitir a partir de la unidad de cálculo (10) y con destino a la central de control (8) una señal (T2) representativa del estado de funcionamiento de todas las partes del brazo de robot (4), en el cual todas las partes del brazo de robot (4) se declaran como estando en fallo si al menos una de estas partes se detecta como que no funciona.
- 25 14. Procedimiento de control según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por el hecho de que** el bus (14) soporta un modo de comunicación síncrono.
- 30 15. Procedimiento de control según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por el hecho de que** el bus (14) funciona en un modelo de interfaz de tipo SERCOS.
- 30 16. Procedimiento de control según la reivindicación 13, **caracterizado por el hecho de que** la central de control (8) se comunica con los controladores de ejes ficticios asociados a los ejes de control de movimiento del brazo de robot (4) utilizando los comandos del perfil de material « Profile drive ».

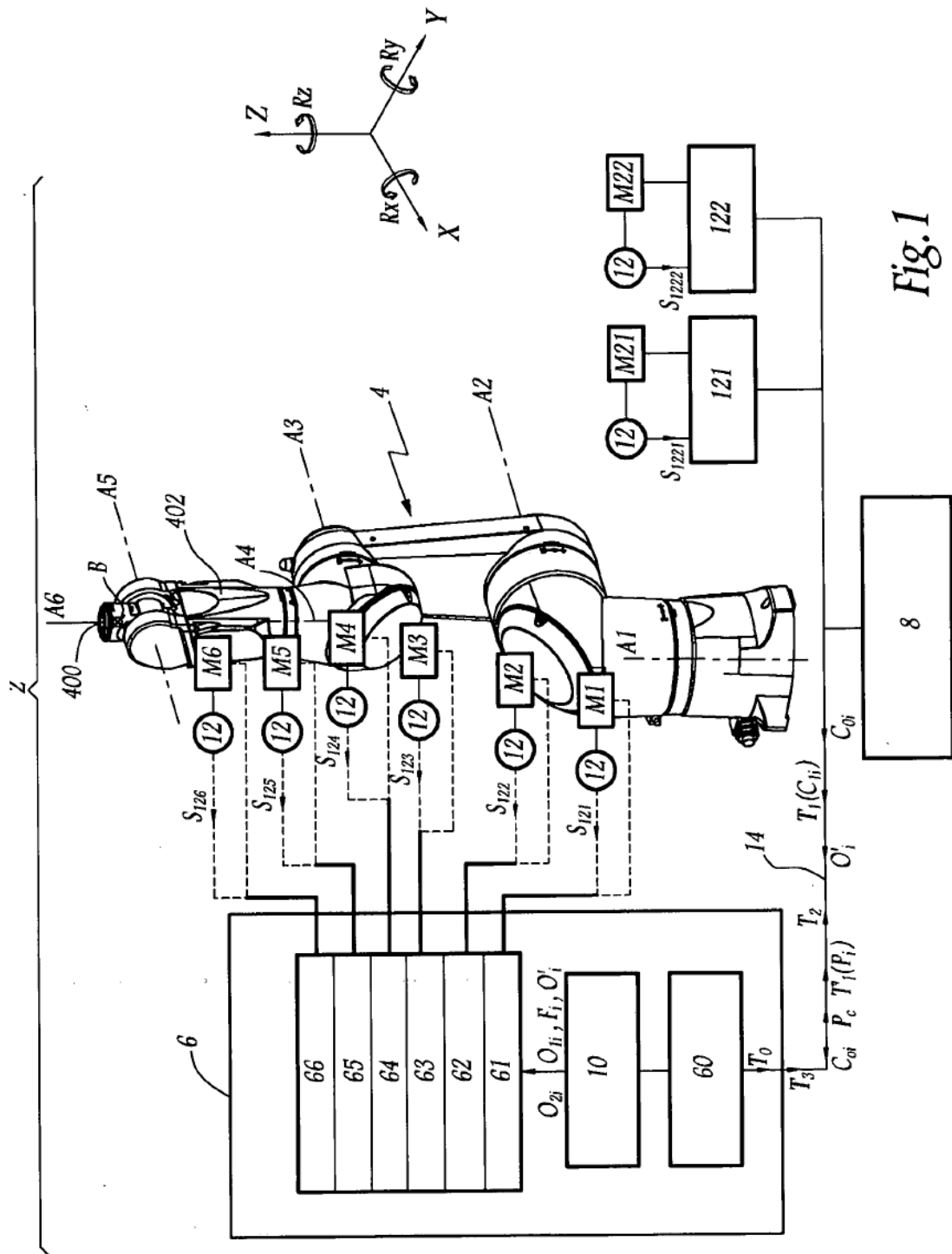


Fig. 1

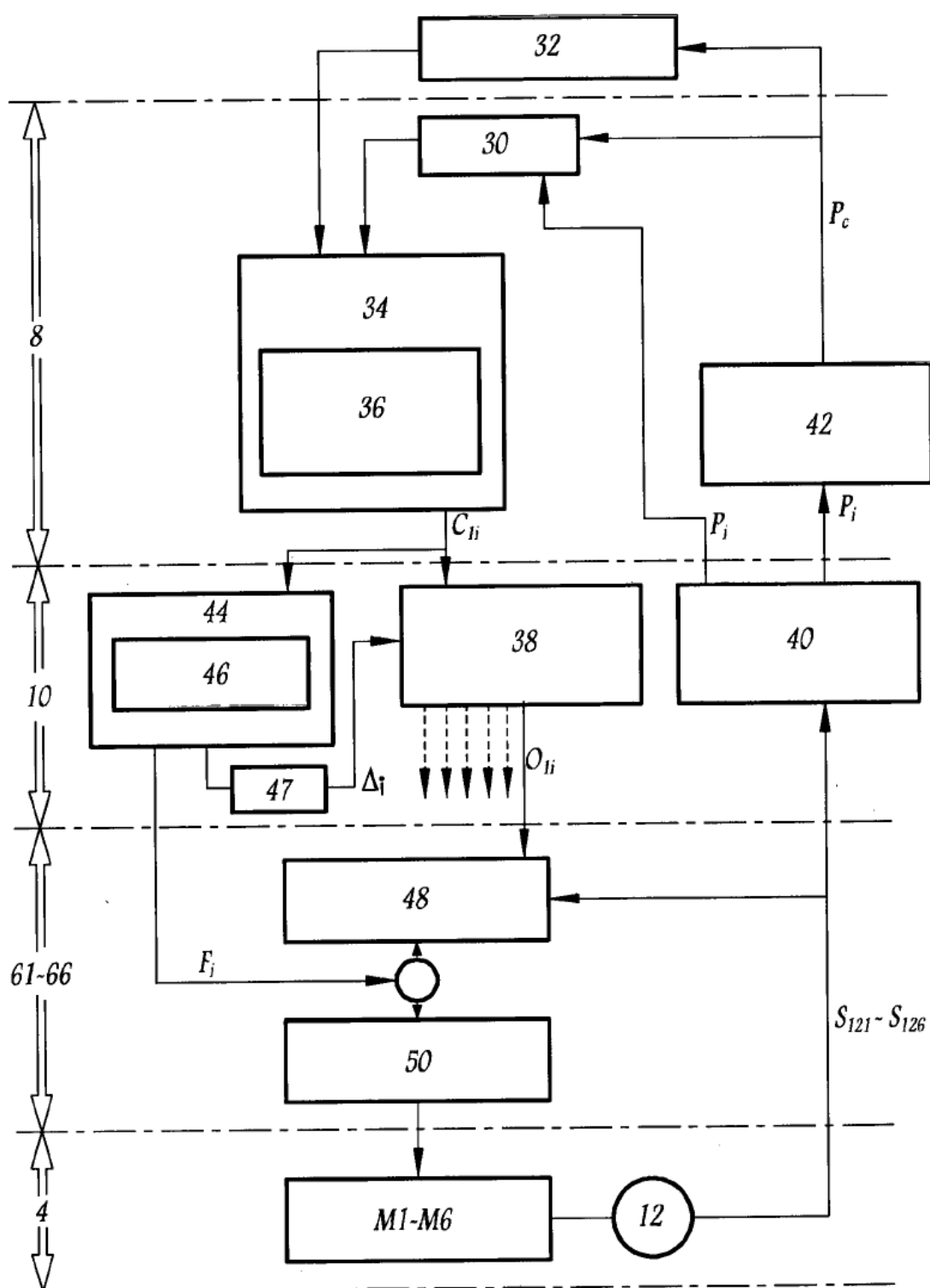


Fig.2