(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 360 681**

(51) Int. Cl.:
***G05B 19/409*** (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Número de solicitud europea: **07405014 .7**
(96) Fecha de presentación : **18.01.2007**
(97) Número de publicación de la solicitud: **1947538**
(97) Fecha de publicación de la solicitud: **23.07.2008**

(54) Título: **Procedimiento para el control de una herramienta desplazable, dispositivo de introducción de datos y máquina de mecanización.**

(73) Titular/es: **FRITZ STUDER AG.**
**Thunstrasse 15**
**3612 Steffisburg, CH**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
**08.06.2011**

(72) Inventor/es: **Gaegauf, Alfred y**
**Abbühl, Martin**

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
**08.06.2011**

(74) Agente: **Isern Jara, Jorge**

**ES 2 360 681 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 para el control de una herramienta desplazable, dispositivo de introducción de datos y máquina de mecanización

La presente invención se refiere a un procedimiento para el control de una herramienta desplazable, a un dispositivo de introducción de datos para la realización de un procedimiento de este tipo, así como a una máquina de mecanización dotada de un dispositivo de introducción de datos de este tipo.

Se conocen máquinas de mecanización que posibilitan una mecanización precisa de una pieza, de manera que la herramienta es desplazada de forma controlada. La posición de la herramienta a lo largo del tiempo queda determinada, por lo tanto, por la función de avance, que se debe predeterminar de manera correspondiente a las geometrías deseadas en las piezas. No obstante, se pueden predeterminar solamente funciones de avance relativamente simples. En máquinas de rectificado, el usuario puede definir, por el giro de un potenciómetro, valores para diferentes posiciones de la muela de rectificado, tales como posición de contacto, donde la muela establece contacto con la pieza, posición de cambio en la que se determina el material que se eliminará por pasada en el planeado y una posición final, en la que el disco de la muela alcanza la medida final, así como valores para la correspondiente velocidad de desplazamiento del disco de la muela entre dos posiciones.

Por lo demás, la predeterminación de la función de avance queda dificultada por el hecho de que en la introducción de los valores pueden tener lugar ligeros errores y que la determinación precisa de los valores individuales requiere una determinada experiencia por parte del usuario para conseguir las exactitudes deseadas en la mecanización de piezas.

El documento US 6.234.869 B1 da a conocer un procedimiento de acuerdo con la parte introductoria de la reivindicación 1.

Partiendo de este estado de la técnica, un objetivo de la presente invención consiste en hacer más simple y flexible la introducción de datos de una función de avance y dar a conocer un procedimiento, un dispositivo de introducción de datos, así como una máquina de mecanización que posibilitan la introducción de datos mejorada que se ha mencionado para la función de avance.

Este objetivo se consigue mediante el procedimiento, según la reivindicación 1, el dispositivo de introducción de datos, según la reivindicación 6, así como la máquina de mecanización, según la reivindicación 8. Las otras reivindicaciones dan a conocer formas de realización preferentes, así como un programa de ordenador y un soporte de datos.

El procedimiento objeto de la invención, así como el dispositivo de introducción de datos, según la invención, y la máquina de mecanización tienen, entre otros, la ventaja de que se pueden facilitar de manera sencilla y fiable incluso funciones de avance complicadas sin que para ello sea necesario un trabajo de programación engorroso por parte del usuario. La invención se basa, entre otros, en el reconocimiento de que resulta más simple evaluar y determinar la realización del proceso de mecanización en base a una representación gráfica de la función de avance y no mediante valores numéricos individuales.

La invención será explicada a continuación en base a un ejemplo de realización preferente haciendo referencia a las figuras.

En las cuales

La figura 1 es una representación gráfica de una función de avance de tipo conocido;

La figura 2 muestra de manera esquemática un dispositivo de introducción de datos para generar una función de avance;

La figura 3 muestra esquemáticamente un monitor con una representación gráfica de funciones de avance;

Las figuras 4-7 muestran diferentes ejemplos de variaciones gráficas de una curva de avance;

La figura 8 muestra el monitor, según la figura 3, con curvas de avance modificadas; y

La figura 9 muestra una máquina de mecanización con un dispositivo de introducción de datos, según la figura 2.

La figura 1 muestra una representación gráfica de una función de avance de tipo conocido. La abscisa t corresponde al eje de tiempos, las ordenadas X facilitan la posición de la herramienta sobre el eje de las X.

Para la determinación de la función de avance, se facilitarán previamente valores individuales para la posición de la herramienta X1, X2, X3, X4, X5, así como la correspondiente velocidad de desplazamiento V1, V2, V3, V4, con las cuales se debe desplazar la herramienta entre las posiciones correspondiente, es decir, entre X1 y X2, X2 y X3, X3 y X4, así como X4 y X5. Si la herramienta es, por ejemplo, una muela de disco, X1 corresponde, por ejemplo, a la posición de contacto en la que la herramienta establece contacto sobre la superficie de la pieza, X2 corresponde a una posición de cambio, desde la cual se eliminará material mediante desbaste, X3 es una segunda posición de cambio, desde la cual la extracción de material tiene lugar mediante planeado, X4 es una tercera posición de cambio desde la que se aplica un planeado fino y X5 es la posición final en la que la herramienta alcanza la medida final. Las velocidades de desplazamiento V1, V2, V3, V4 son constantes, de manera que el avance de la herramienta tiene lugar entre posiciones lineales. Tal como se puede apreciar en la figura 1, resulta, por lo tanto, en la representación gráfica, una función de avance que se compone de tramos rectos individuales. La correspondiente pendiente de un tramo corresponde en este caso a la velocidad de desplazamiento V1, V2, V3 ó V4.

La figura 2 muestra esquemáticamente el dispositivo de introducción de datos 10 mediante el cual se puede generar una función de avance y que comprende un monitor 11, un ordenador 17, un teclado 19 y un dispositivo señalizador 20 en forma de un “ratón de ordenador”.

El aparato señalizador 20 (en inglés “pointing device”) sirve para el control del cursor 12 del monitor para marcar determinados puntos o zonas o escoger elementos del menú. Por desplazamiento del dispositivo señalizador 20, se varía la posición del cursor 12 del monitor de manera correspondiente.

El ordenador 17 está equipado del modo habitual y contiene para el tratamiento de datos una unidad central (CPU) y una memoria, por ejemplo en forma de una memoria de escritura-lectura (RAM) y/o un disco duro. Durante el funcionamiento, el ordenador 17 recibe datos del dispositivo señalizador 20 y en caso deseado del teclado 19, evalúa los datos y genera señales de monitor que serán recibidas por el monitor 11. El ordenador 17 contiene además un programa gráfico apropiado para la evaluación de los datos del aparato señalizador 20 y del teclado 19 y para generar señales de monitor que producen una representación de la función de avance en forma de una curva sobre el monitor 11.

La función de avance determina el desplazamiento a lo largo del tiempo de una herramienta, de manera que, para cada eje, a lo largo del cual es desplazable aquélla de modo controlado, se tiene de forma predeterminada una curva de avance. Por ejemplo, si la herramienta es desplazable a lo largo de los ejes X, Y y Z, la función de avance establece una función de tres valores (X(t), Y(t), Z(t)). Para un control más simple, el movimiento de la herramienta puede ser definido a lo largo de menos de tres ejes, de manera que solamente se debe facilitar una curva de avance, por ejemplo, X(t) o bien dos curvas de avance, por ejemplo X(t) y Z(t).

Habitualmente son necesarias varias fases de mecanización para terminar una pieza con la geometría deseada. Por ejemplo, se efectúa el rectificado fase a fase de diferentes zonas de la pieza, tales como superficies cilíndricas, cuerpos a la izquierda y a la derecha, roscas, etc., de manera que el disco de la muela será desplazado de manera adecuada (rectificado longitudinal, rectificado plano, etc.). Para el procedimiento descrito, se caracteriza cada una de las fases posibles de mecanización mediante una función de avance básica, la cual puede ser predeterminada en base a valores de la experiencia. Para que el programa básico pueda actuar en las funciones de avance básicas, éstas están reunidas en un conjunto en la memoria del ordenador 17. En lugar de un conjunto de este tipo o de forma adicional al mismo, el programa gráfico puede comprender una zona de modelado mediante la cual el ordenador 17 modela en base a datos que se facilitan la correspondiente función de avance básica.

A continuación se explicará la introducción de la función de avance para una herramienta en forma de una muela de disco que es desplazable de forma controlada en los ejes X y Z. la figura 3 muestra esquemáticamente un monitor 11 con diferentes ventanas abiertas 21-24.

En las ventanas 21 y 22 se ha mostrado la función de avance actual en forma de curvas de avance 29, 29’. Las abscisas t de las correspondientes curvas de avance 29, 29’ corresponden al eje de tiempos, las ordenadas corresponden a la posición de la herramienta sobre el eje de las X o bien sobre el eje de las Z. El punto cero del eje de las X y del eje de las Z corresponde a la posición final para la cual la herramienta ha alcanzado la medida final.

La ventana 23 muestra un menú en el que se puede efectuar elección, en el cual se aprecia una lista de las posibles etapas de mecanización. Una etapa individual de mecanización está caracterizada, por ejemplo, por los siguientes parámetros: las características del disco de muela a utilizar, el tipo de la superficie a mecanizar (por ejemplo, soporte a la izquierda, soporte a la derecha, etc.) y la forma en la que se debe proceder al avance de la muela de disco (por ejemplo, pasadas rectas, pasadas oblicuas etc.). Las informaciones sobre estos parámetros se encuentran en los campos 23a del menú. Mediante el accionamiento del dispositivo señalizador 20 el usuario puede escoger la etapa de mecanización deseada.

La ventana 24 contiene campos de introducción de datos, en los cuales el usuario, mediante el teclado 19, puede introducir datos, entre otros, las medidas para la zona de la pieza a trabajar, tales como la medida inicial y la medida final deseada.

Después de escoger la etapa de mecanización, el programa del gráfico se aplica a la función base de avance correspondiente para la etapa de mecanización entre el conjunto de las mismas, selecciona ésta como función de avance inicial y genera señales de monitor que producen una representación de la función de avance inicial en forma de una curva de avance inicial 29 ó 29' en la ventana 21 ó 22 del monitor 11. Las curvas 29 y 29' de la figura 3 muestran, a título de ejemplo, para el proceso de mecanización de las pasadas oblicuas las curvas de avance inicial para el avance de la muela de disco en el eje X o bien en el eje Z. En este ejemplo, los puntos P1-P5 y P1'-P5' sobre las curvas de avance inicial 29, 29' los siguientes procesos temporales en la mecanización:

P1, P1': La muela de disco se encuentra en la posición inicial. Después del momento de tiempo t = 0, la muela de disco se desplazará sobre la pieza a mecanizar hasta que ésta establece contacto con su superficie y efectúa el desbaste.
P2, P2': La mecanización pasa de desbaste a planeado.
P3, P3': La mecanización pasa de planeado a acabado fino.
P4, P4': Empieza el chispeado.
P5, P5': La muela de disco es levantada de la pieza.

Mediante el accionamiento del aparato señalizador 20, se pueden variar las curvas de avance inicial 29, 29'. El programa gráfico está dispuesto de manera tal que están preparadas diferentes posibilidades de variación. En las figuras 4-7 se han mostrado cuatro ejemplos de posibles variaciones, de manera que la curva de avance inicial correspondiente se ha mostrado como línea de trazos y la curva modificada como línea continua:

- se marcará y desplazará un punto, por ejemplo, P2, de manera que los siguientes puntos se desplazarán conjuntamente (ver figura 4). La flecha 31 indica la dirección en la que se desplazará el cursor del monitor por accionamiento del dispositivo señalizador 20.
- se marcará un punto, por ejemplo P2, y se desplazará, de manera que los siguientes puntos permanecen sin variación (ver figura 5).
- se marcará un punto, por ejemplo P2 y se extinguirá (ver figura 6).
- se añadirá un punto P1a (ver figura 7).

Para escoger el tipo de la modificación, en primer lugar se accionará, además del dispositivo señalizador 20, el teclado 19. También es posible la disposición del programa del gráfico de manera tal que mediante el accionamiento del dispositivo señalizador 20 se pueda escoger el tipo de variación, de manera que se mostrará, por ejemplo, un menú sobre el monitor 11.

En las figuras 3-8, la curva de avance discurre de forma lineal entre los puntos P1-P5 o bien P1'-P5', de manera que las coordenadas de los puntos adyacentes P1a, P2a, P1a', P2a' serán predeterminadas por el usuario. De manera opcional, el programa de gráfico puede estar dispuesto de forma tal que el ordenador 17 calcule las coordenadas de puntos adicionales, por ejemplo, por utilización de funciones lineales ("spline"). Si se ha escogido esta opción, el usuario puede marcar en una determinada zona de tiempo los puntos que se encuentran de las curvas de avance inicial 29, 29'. El ordenador 17 calcula entonces una función de avance inicial modificada, de manera que se establecerá una función lineal ("spline") mediante los puntos marcados, la cual se mostrará en forma de un polígono con un número determinado de puntos sobre el monitor 11.

Mediante utilización sucesiva de los diferentes tipos de modificación, el usuario puede adecuar las curvas de avance inicial 29, 29' hasta el punto que corresponden a las curvas de avance deseadas. La figura 8 muestra el monitor 11, según la figura 3 con las curvas de avance modificadas 30 y 30'. En este ejemplo, en la curva de avance 30 los puntos P2 y P3 han sido desplazaos y se han añadido los puntos P1a y P2a. Entre los puntos P1 y P1a se prevé, por lo tanto, un pre-desbaste y entre los puntos P2a y P3 un primer chispeado antes del acabado. Las informaciones a los puntos añadidos P2a y P1a serán mostradas automáticamente mediante el programa de gráfico de los campos 23a del menú.

En el presente ejemplo, la herramienta es desplazable según dos ejes, de manera que el desplazamiento espacial está acoplado temporalmente de manera correspondiente a la etapa de mecanización escogida. Por ejemplo, si tiene que realizarse una operación de planeado con un ángulo de 45 grados, el desplazamiento en el eje X corresponde al desplazamiento en el eje Z.

El programa de gráfico está dispuesto de manera tal que toma en consideración de manera correspondiente a la etapa escogida de mecanización, el acoplamiento temporal de los ejes. Por lo tanto, en caso de que el usuario modifique, por ejemplo, en la ventana 21 la curva 29 de avance inicial, se modifica asimismo la curva de avance inicial 29' de la ventana 22 de forma automática. En el ejemplo, según la figura 8, el programa de gráfico ha generado que en la modificación de la curva de avance inicial 29 en la ventana 21 los puntos P2' y P3' hayan sido desplazados y los puntos P1a' y P2a' hayan sido añadidos.

Si la variación de las curvas de avance 30, 30' ha terminado, el ordenador 17 genera un programa de control que comprende instrucciones de control para el desplazamiento de la herramienta y que es legible en la unidad de control de la herramienta.

En el ejemplo que se ha mostrado, las coordenadas X del punto P1 y las coordenadas Z del punto P1' han sido predeterminadas por la función de avance base. Los valores para estas coordenadas se escogen suficientemente grandes, de manera que para las mecanizaciones habituales, la muela de disco llega solamente después del punto de tiempo t = 0 a la superficie de la pieza, por ejemplo, si X = 0,3 mm y Z = 0,15 mm para t = 0. En el caso de que deba ser mecanizada una pieza para la que existe una diferencia demasiado grande entre la medida en bruto y la medida final y, por lo tanto, la muela de disco debería establecer contacto con la pieza antes del punto de tiempo t = 0, el usuario puede adecuar la curva inicial 29 o bien 29' con las posibilidades de variación anteriormente explicadas, de manera tal que la muela de disco establece contacto con la superficie de la pieza solamente después de t = 0.

Tal como se ha explicado en lo anterior, es posible también que el programa de gráfico pueda estar dotado con una zona de modelado. Ésta puede estar dispuesta de forma tal que el ordenador ordena a base de la función de avance base y de los datos geométricos introducidos, una función de avance inicial.

La figura 9 muestra un ejemplo de realización de una máquina de mecanización 40 en la que el dispositivo de introducción de datos 10 está integrado con el monitor 11, el ordenador 17, el teclado 19 y el dispositivo señalizador 20.

La máquina de mecanización 40 está constituida en forma de rectificadora de piezas redondas y comprende, además de la muela de disco como herramienta 42, una unidad de control 41, así como un llamado punto de sujeción de la pieza 43 y un punto de acompañamiento 44 para soportar e impulsar una pieza a mecanizar 39. La muela de disco 42 es giratoria alrededor del eje de la muela y desplazable en las direcciones X y Z. La unidad de control 41 está unida con la herramienta desplazable 42 y constituye conjuntamente con el ordenador 17 un control CNC. Tal como se ha explicado anteriormente, la función de avance tiene un punto cero en la medida final. El control CNC está dispuesto de forma tal que genera, a base de la función de avance predeterminada y de los datos geométricos facilitados en la ventana 24 del monitor 11, un programa de control que conduce a un desplazamiento de la herramienta 42 en el espacio que éste alcanza la medida final en el punto adecuado con respecto a la superficie de la pieza a trabajar.

Mediante la introducción de una señal de confirmación empezará el proceso de mecanización. La unidad de control 41 genera, en base al programa de control, señales de control que son recibidas por la herramienta 42, de manera que ésta se desplaza de manera correspondiente a lo largo de los ejes y mecaniza la pieza 39.

De manera opcional, la máquina de mecanización 40 presenta una dirección de medición 45 relacionada con el ordenador 17, con la cual se pueden evaluar durante la mecanización de la pieza 39 magnitudes tales como diámetro y longitudes en la pieza 39. Las dimensiones medidas serán almacenadas en el ordenador 17 y mostradas para el correspondiente eje como curva real conjuntamente con la curva de avance en el monitor 11. La curva real facilita, por ejemplo, la variación a lo largo del tiempo del diámetro de la pieza a trabajar. La curva de avance que se ha facilitado corresponde a la curva teórica. Por comparación de la curva real y de la curva teórica, el operario puede determinar si la mecanización de la pieza puede ser todavía optimizada, por ejemplo, en lo que respecta al tiempo y/o a la calidad.

Opcionalmente, el dispositivo de medición 45 forma parte de un circuito de regulación mediante el cual se corrigen desviaciones del valor real con respecto al valor teórico durante el proceso de fabricación.

El proceso que se ha descrito hasta el momento, el dispositivo de introducción de datos, así como la máquina de mecanización tienen, entre otras, las siguientes ventajas:
- la introducción de la función de avance es facilitada por la representación gráfica, así como por la posibilidad de modificación gráfica. Ésta tiene lugar mediante un dispositivo señalizador, de manera que el operario no necesita facilitar cifra alguna y, por lo tanto, se reduce el peligro de una introducción errónea.
- se pueden facilitar las funciones de avance deseadas en la práctica. En comparación con la función de avance, tal como se ha mostrado, por ejemplo, en la figura 1, se pueden definir, según deseo, muchos puntos de cambio.

Partiendo de la descripción anterior, serán posibles múltiples modificaciones para los técnicos sin salir del ámbito de protección de la invención, que queda definido por las reivindicaciones. Así, por ejemplo, en vez del ratón de ordenador, o de forma adicional a éste, se pueden utilizar los siguientes dispositivos señalizadores: pantalla táctil, bola de seguimiento ("trackball"), placa táctil ("touchpad"). Así, por ejemplo, el monitor 11 puede estar constituido en forma de pantalla táctil, de manera que la curva de avance será modificada gráficamente, de manera que el usuario hace discurrir una punta o el dedo sobre la pantalla táctil.

En vez de una muela de disco, el procedimiento que se ha descrito puede ser utilizado para la introducción de una función de avance para otros tipos de herramientas, tales como, por ejemplo, herramientas de torno o herramientas de fresado.

El dispositivo de introducción de datos 10 no necesita estar integrado en la máquina de mecanización 40, sino que puede estar construido en forma de estación separada. En este caso, el programa de control generado será transferido con intermedio de una conducción de conexión o mediante un soporte de datos, por ejemplo, un disquete, a la unidad de control 41 de la máquina de mecanización 40.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para el control de una herramienta desplazable (42), en especial una herramienta de rectificado, mediante una función de avance que proporciona el desplazamiento de la herramienta a lo largo del tiempo, como mínimo, según un eje, de manera que
se muestra en un monitor (11) una función de avance inicial en forma, como mínimo, de una curva de avance inicial (29, 29'), caracterizado porque
a partir de la función de avance inicial y de la introducción de datos realizada por medio de un dispositivo señalizador (20), se calcula una función de avance y se muestra como curva de avance inicial modificada (30, 30') sobre la pantalla (11), y
se generan instrucciones de control para desplazar la herramienta a partir de la función de avance.

2. Procedimiento, según la reivindicación 1, caracterizado porque el dispositivo señalizador (20) comprende, como mínimo, uno de los siguientes componentes: ratón de ordenador, pantalla táctil, bola de seguimiento, placa táctil.

3. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, caracterizado porque la curva de avance inicial (29, 29') se muestra en un sistema de coordenadas con ordenadas y abscisas, de manera que
las ordenadas o las abscisas corresponden al eje de los tiempos y las abscisas o las ordenadas, respectivamente, corresponden a la posición de la herramienta (42) en un eje.

4. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque las variables medidas de una pieza a trabajar (39) mecanizada por la herramienta (42) son captadas y mostradas en forma de una curva real sobre el monitor (11).

5. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque la función inicial de avance (29, 29') es calculada por medio de una función de avance básica que es seleccionada entre una serie de funciones de avance básicas almacenadas en una memoria de datos y/o por medio de datos introducidos.

6. Dispositivo de introducción de datos con el que se puede implementar el procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores y que comprende, como mínimo, un monitor (11), como mínimo, un dispositivo señalizador (20) y un ordenador (17) conectado al monitor y al dispositivo señalizador, caracterizado porque el ordenador está dotado de un programa de ordenador mediante cuya realización se puede llevar a cabo el procedimiento.

7. Dispositivo de introducción de datos, según la reivindicación 6, caracterizado porque el dispositivo señalizador (20) comprende, como mínimo, uno de los siguientes componentes: ratón de ordenador, pantalla táctil, bola de seguimiento, placa táctil.

8. Máquina para la mecanización de piezas, que comprende los siguientes componentes:
un dispositivo de introducción de datos (10) según la reivindicación 6 ó 7,
como mínimo, una herramienta (42) que es desplazable mediante un control, y
como mínimo, una unidad de control (41) para controlar la herramienta, estando conectado el ordenador (17) y el dispositivo de introducción de datos a la unidad de control.

9. Máquina herramienta, según la reivindicación 8, caracterizada porque comprende un dispositivo de medición (45) para captar variables medidas durante la mecanización de una pieza a trabajar (39).

10. Máquina herramienta, según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 9, caracterizada porque comprende una muela de disco como herramienta (42), un punto de cabezal (43) para la pieza a trabajar y un contra-punto de retención (44).

11. Programa de ordenador en el que al llevarlo a cabo en un ordenador se realiza el procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5.

12. Soporte de datos sobre el que está almacenado el programa de ordenador según la reivindicación 11.

**FIG. 1**

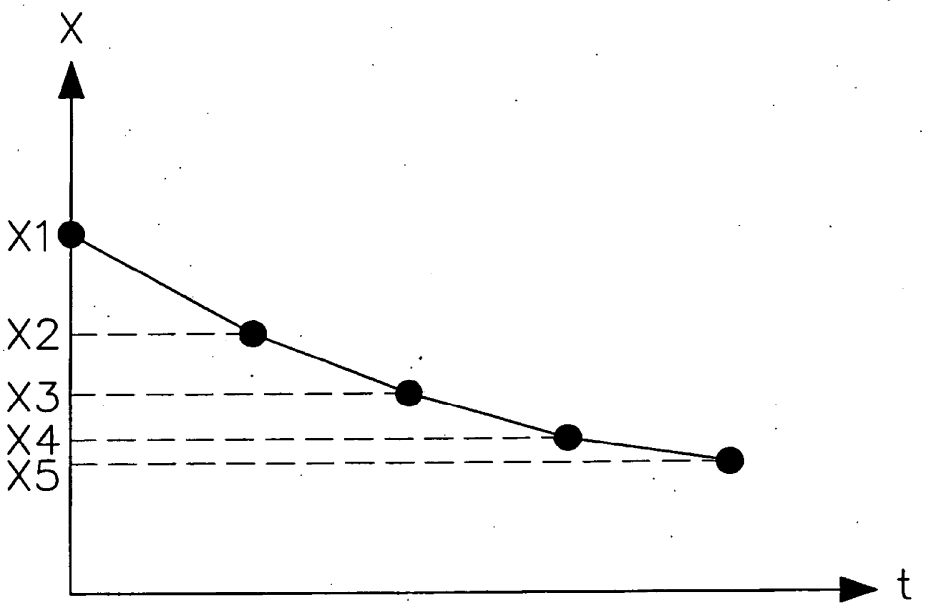



**FIG. 2**

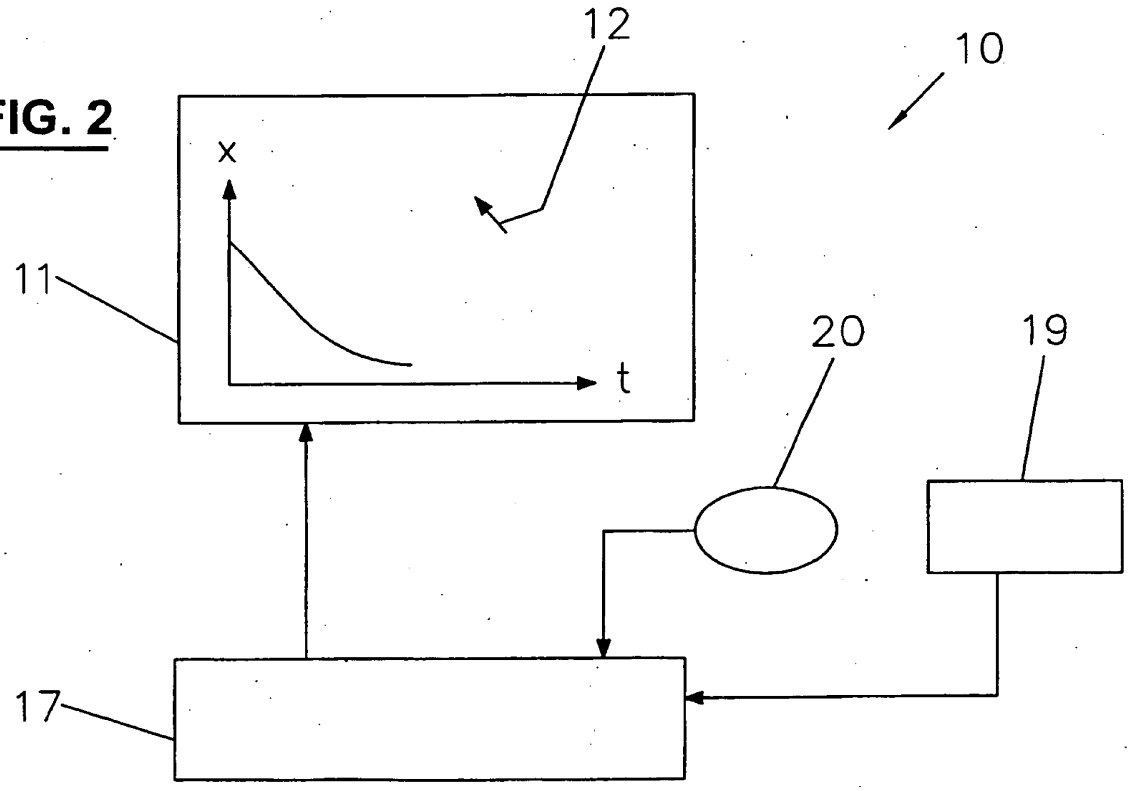


**FIG. 3**

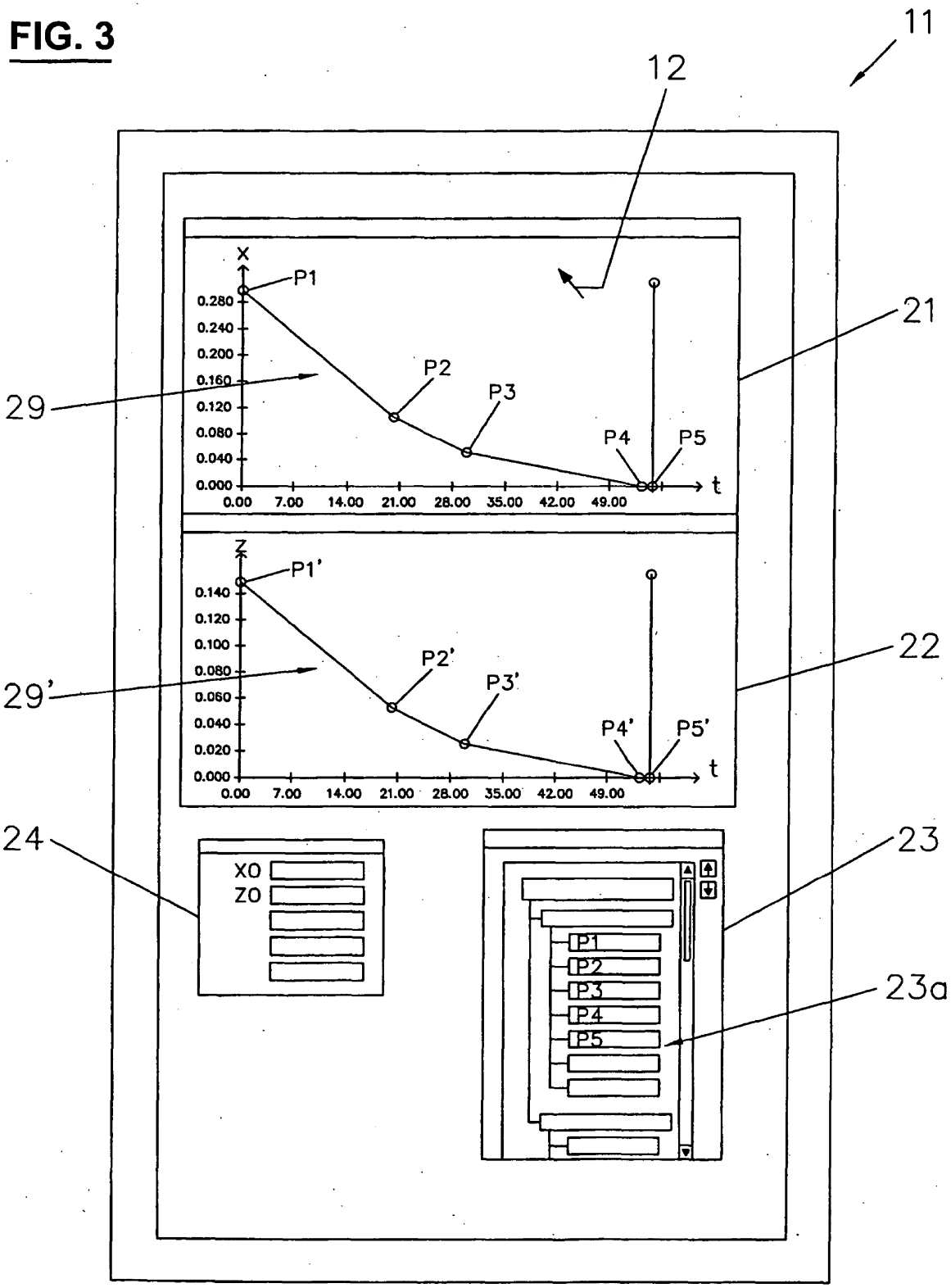

11
12
21
22
23
23a
24
29
29'
X
P1
P2
P3
P4
P5
t
0.280
0.240
0.200
0.160
0.120
0.080
0.040
0.000
0.00
7.00
14.00
21.00
28.00
35.00
42.00
49.00
Z
P1'
P2'
P3'
P4'
P5'
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
XO
ZO

FIG. 5

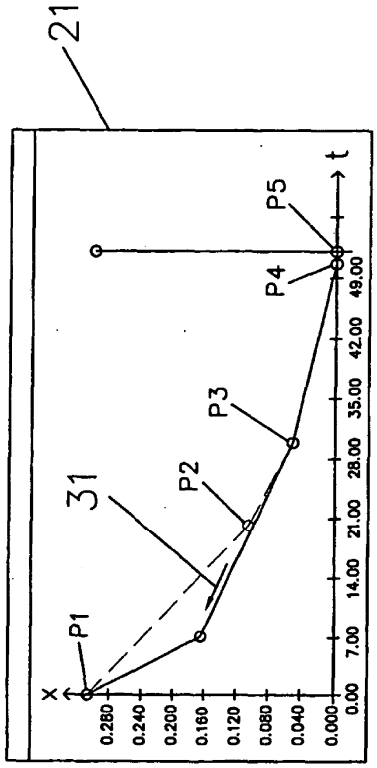



FIG. 4

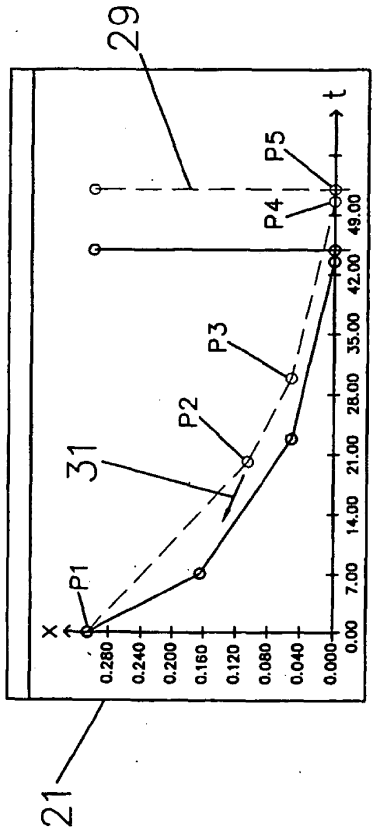



FIG. 7

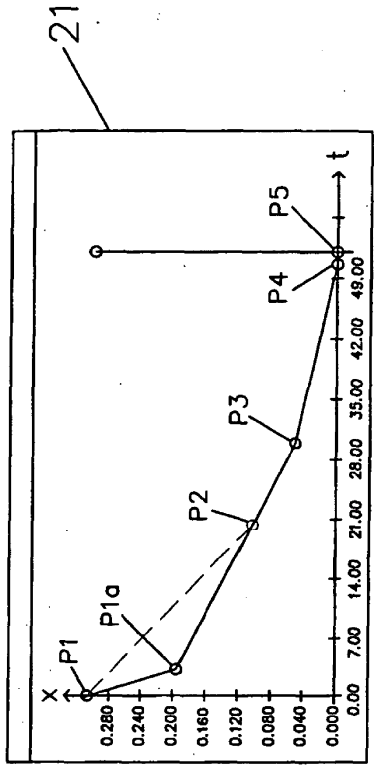



FIG. 6

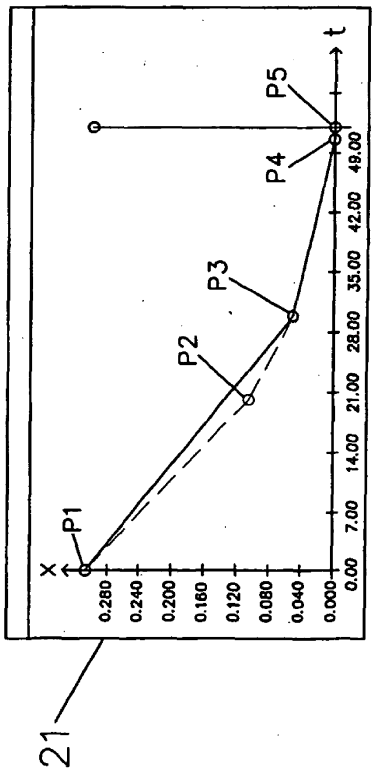
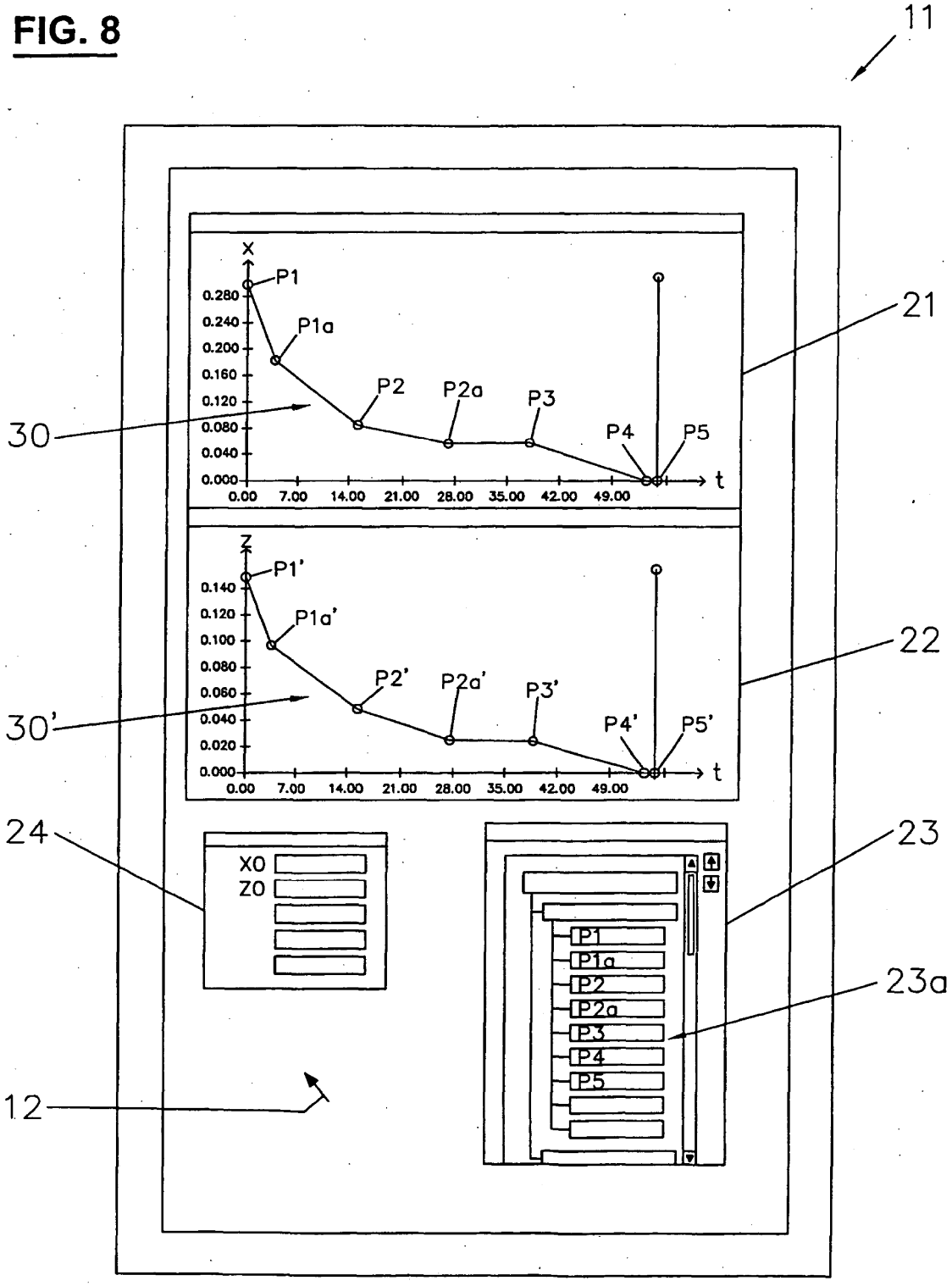


**FIG. 8**


11
21
22
23
23a
24
30
30'
12
X
P1
P1a
P2
P2a
P3
P4
P5
t
0.280
0.240
0.200
0.160
0.120
0.080
0.040
0.000
0.00
7.00
14.00
21.00
28.00
35.00
42.00
49.00
Z
P1'
P1a'
P2'
P2a'
P3'
P4'
P5'
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
X0
Z0
P1
P1a
P2
P2a
P3
P4
P5

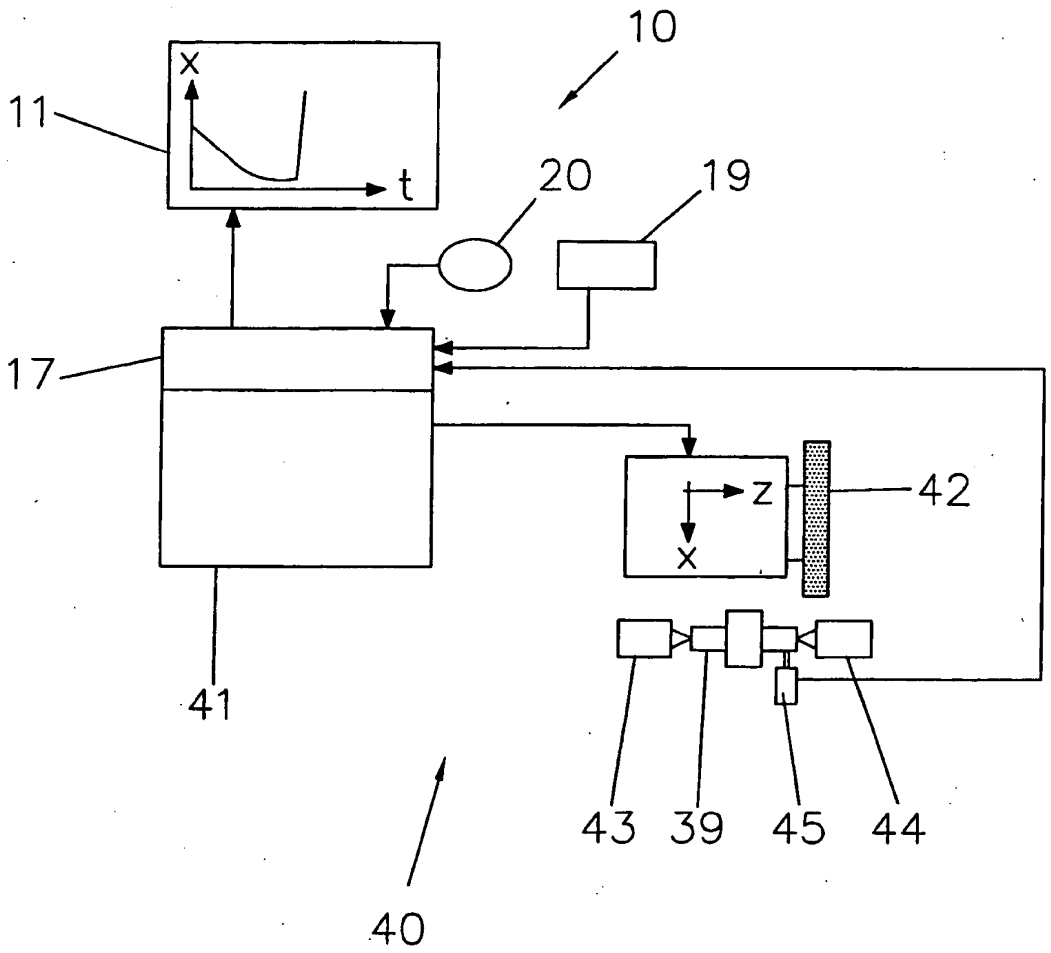



**FIG. 9**