



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 359 803**

51 Int. Cl.:  
**G05B 19/416** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **02777073 .4**

96 Fecha de presentación : **12.09.2002**

97 Número de publicación de la solicitud: **1470458**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **27.10.2004**

54 Título: **Método de control de trayectoria.**

30 Prioridad: **04.10.2001 DE 101 49 175**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**27.05.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**27.05.2011**

73 Titular/es: **DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH**  
**Postfach 12 60**  
**83292 Traunreut, DE**

72 Inventor/es: **Hauerding, Josef;**  
**Zacek, Johann;**  
**Brader, Anton y**  
**Rauth, Michael**

74 Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 359 803 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

Método de control de trayectoria

5 La invención se refiere a un método de control de trayectoria de acuerdo con la reivindicación 1.

10 En las máquinas herramienta modernas se utilizan Controles Numéricos para controlar la colocación y movimiento de herramientas con respecto a una pieza de trabajo. Para mecanizar una pieza de trabajo de acuerdo con una especificación es necesario mover la herramienta con respecto a la pieza de trabajo sobre trayectorias previamente fijadas. Se habla por tanto también de un control de trayectoria. La fijación de las trayectorias deseadas se realiza en un programa de piezas, que se ejecuta por el Control Numérico. El Control Numérico transforma a este respecto las instrucciones geométricas del programa de piezas en instrucciones para la regulación de posición de los diferentes ejes de la máquina herramienta.

15 En un programa de piezas de este tipo se aproximan por ejemplo trayectorias de herramienta aleatorias mediante puntos de apoyo, entre los que el control de trayectoria interpola de forma lineal. En máquinas herramienta modernas tales como una fresadora de 5 ejes se dispone de varios ejes de movimiento, sobre los que puede proyectarse la trayectoria deseada. La especificación para cada eje de movimiento se compone entonces a su vez de puntos de apoyo (posiciones de eje) a los que cada eje debe aproximarse consecutiva y sincrónicamente. Esto es válido tanto para ejes lineales como para ejes angulares.

20 Puesto que una máquina herramienta está sujeta a determinadas restricciones en cuanto a la aceleración máxima y también al tirón máximo (variación de la aceleración) en sus ejes de movimiento, una esquina prevista en el programa de piezas entre dos secciones de trayectoria de la trayectoria de herramienta no puede atravesarse exactamente con una velocidad finita, ya que para ello sería necesaria una aceleración infinita. La velocidad máxima con la que puede atravesarse una esquina depende por tanto de la tolerancia máxima admisible con la que la trayectoria de herramienta real puede desviarse de la trayectoria de herramienta ideal. Cuanto mayor sea esta tolerancia, mayor será la velocidad posible. Una esquina fijada en el programa de piezas se redondea por ello cada vez más intensamente con velocidad creciente.

30 Similares limitaciones son válidas también en la ejecución de una sección de trayectoria individual, para la que cada eje debe moverse de un punto de partida (proyección del primer punto de apoyo) a un punto final (proyección del segundo punto de apoyo). Habitualmente para este movimiento está prefijada una velocidad. Pero puesto que un salto de velocidad en el punto de partida de una sección de trayectoria estaría unido a una aceleración infinita, debe realizarse un redondeo del perfil de velocidad. Este redondeo puede realizarse mediante una filtración del perfil de velocidad con un filtro FIR, como está descrito por ejemplo en el documento EP 864952 A1. Puesto que cada trayectoria se compone de la superposición de todos los movimientos de eje, la filtración de las secciones de trayectoria individuales debe realizarse de modo que todos los saltos en la velocidad se nivelen del mismo modo. Solamente así está garantizada una gestión sincrónica de la velocidad o la aceleración para cada uno de los ejes, que conduce al cumplimiento de la trayectoria de herramienta prefijada.

45 En el método de control de trayectoria descrito es desventajoso que en máquinas herramienta con varios ejes respectivamente los ejes con la peor dinámica (es decir, por ejemplo, con la menor aceleración máxima) prefijen la gestión de velocidad. Los ejes dinámicos deben esperar al eje respectivamente más lento, que está tomando parte en una sección de trayectoria. A menudo para el caso de tales ejes menos dinámicos se trata de los ejes angulares de una máquina herramienta. Se añade que en el caso de una limitación por un eje angular el mismo se hace funcionar al límite. Esto conduce a una merma en la calidad superficial de la pieza de trabajo mecanizada, ya que en este caso el eje angular aprovecha por completo la desviación de trayectoria que se le permite.

50 Por lo tanto, es objetivo de la invención indicar un método de control de trayectoria que suministre una calidad superficial mejorada de la pieza de trabajo mecanizada o permita menores tiempos de mecanizado.

55 Este objetivo se resuelve mediante un método de acuerdo con la reivindicación 1. Se obtienen detalles ventajosos del método a partir de las reivindicaciones dependientes de la reivindicación 1.

60 Se reconoció que la ubicación de un eje angular sobre la posición de una herramienta con relación a una pieza de trabajo fijada sobre una máquina herramienta no desempeña ningún papel cuando está activada una corrección de colocación de herramienta existente en muchas máquinas herramienta modernas. Esta corrección de colocación de herramienta, denominada habitualmente también unidad RTCP (Rotating Tool Center Point), se ocupa de que con un movimiento en un eje angular se realice el seguimiento con los ejes lineales de tal modo que se mantenga el

punto de ataque de la herramienta sobre la pieza de trabajo.

De acuerdo con la invención se efectúa ahora una gestión de velocidad separada para ejes angulares y ejes lineales. Esto se obtiene, por ejemplo, empleando filtros más sensibles para el redondeo de los perfiles de velocidad de los ejes angulares que para el redondeo de los perfiles de velocidad de los ejes lineales. De este modo aparecen en los ejes angulares aceleraciones menores (y mayores derivaciones de los perfiles de velocidad), las desviaciones del bucle de control de los ejes angulares se reducen, gracias a lo cual aumenta a su vez la calidad superficial de la pieza de trabajo mecanizada. Para mantener no obstante la fidelidad de trayectoria necesaria, la unidad RTCP debe controlar un movimiento de compensación en los ejes lineales de manera que el punto de ataque de la herramienta en la pieza de trabajo no cambie ante una gestión de velocidad sincrónica. Con la parametrización correspondiente, el efecto de la calidad superficial mejorada puede desplazarse total o parcialmente a favor de una mayor velocidad de mecanizado.

Otras ventajas así como detalles de la presente invención se derivan de la siguiente descripción por medio de las figuras. A este respecto se muestra:

En la Figura 1, una máquina herramienta con Control Numérico,

En la Figura 2a, b, una trayectoria de herramienta en dos vistas,

En la Figura 3a, b, un perfil de posición para dos ejes y

En la Figura 4a, b, un perfil de velocidad para dos ejes.

En la Figura 1 se reconoce una máquina herramienta 1 con una herramienta 2. Sobre una mesa de mecanizado 4 está fijada una pieza de trabajo 3. La pieza de trabajo 3 y la herramienta 2 pueden moverse una respecto a la otra en varios ejes. De este modo pueden reconocerse en el dibujo ejes lineales en la dirección X y Z, un tercer eje lineal en la dirección  $\gamma$  se encuentra en perpendicular al plano del dibujo. En una fresadora de 5 ejes hay además dos ejes angulares, de los que en la Figura 1 está representado el eje B. La herramienta 2 puede rotar alrededor de la dirección del eje  $\gamma$ . Un segundo eje angular A surge cuando la mesa de mecanizado 4 puede inclinarse alrededor del eje X. El control de los ejes X, Y, Z, A, B se realiza por medio de un Control Numérico 5, que, por ejemplo, puede ejecutar un programa de piezas o recibir y realizar órdenes individuales del operador de la máquina herramienta.

Como puede reconocerse fácilmente en la Figura 1, un movimiento de la herramienta 2 alrededor del eje angular B conduce a un desplazamiento de la punta de la herramienta 2 con respecto a la pieza de trabajo 3. Para facilitar la programación de un mecanizado de una pieza de trabajo en varios ejes X, Y, Z, A, B con al menos un eje angular A, B, debe fijarse por el programador exclusivamente la trayectoria deseada de la punta de la herramienta 2 y la dirección de la herramienta, las posiciones teóricas de los ejes angulares A, B se calculan entonces automáticamente. Una unidad RTCP 6 del Control Numérico 5 asegura a este respecto que con un movimiento en un eje angular A, B los ejes lineales X, Y, Z se desplazan posteriormente de modo que el punto de ataque de la herramienta 2 en la pieza de trabajo 3 se mantiene sobre la trayectoria prefijada, tan sólo cambia la dirección de la herramienta 2 con relación a la pieza de trabajo 3. Para la corrección del punto de ataque durante el movimiento alrededor de un eje angular B son necesarios al menos dos ejes lineales X, Z. La invención por tanto puede utilizarse razonablemente sólo en máquinas herramienta con al menos un eje angular A, B y al menos dos ejes lineales X, Y, Z.

Por medio de las Figuras 2a y 2b está representado un ejemplo muy sencillo de un movimiento prefijado en un programa de piezas para un Control Numérico 5 entre la herramienta 2 y la pieza de trabajo 3 en dos ejes Y y B. Por el programador (o por un interpolador en el Control Numérico 5, que aproxima mediante puntos de apoyo una trayectoria prefijada por el programador) está prefijado un punto de partida 10 y un punto final 11, entre los que la herramienta 2 debe mecanizar con respecto al eje  $\gamma$  una sección de trayectoria 12 con una velocidad prefijada. Al mismo tiempo está prefijado un cambio de la dirección de la herramienta. Desde una ubicación inicial 13 la herramienta debe rotar alrededor del eje angular B hasta una ubicación final 14. A este respecto para el instante T1 en el punto de partida 10 existe la ubicación inicial 13 y para el instante T2 en el punto final 11, la ubicación final 14. Puesto que la punta de la herramienta 2 se mueve, por ejemplo, en el eje Z durante la rotación de la ubicación 13 hacia la ubicación 14, la mesa de mecanizado 4 debe efectuar un movimiento de compensación correspondiente en el eje lineal Z, de la misma manera es necesario un movimiento de compensación del eje lineal X. Este objetivo se asume por parte de la unidad RTCP 6 en el Control Numérico 5. En la Figura 2b está representado por tanto el eje angular B desplazado en la punta de la herramienta.

La Figura 3a representa el movimiento lineal 20 prefijado por el programador en el eje X. Entre el punto de partida 10 y el punto final 11 se efectúa una interpolación lineal, lo que en primer lugar corresponde a un movimiento con velocidad constante, como está representado mediante línea discontinua en la Figura 4a. Análogamente, la Figura 3b representa el movimiento angular 21 prefijado por el programador en el eje B: entre la ubicación inicial 13 y la ubicación final 14 se efectúa una interpolación lineal, lo que en primer lugar corresponde a un giro con velocidad constante, como está representado mediante línea discontinua en la Figura 4b. En este punto se señala que habitualmente ya durante la programación de una trayectoria de herramienta se procura evitar tales saltos en la velocidad. Por medio de este ejemplo simplificado, sin embargo, puede representarse la invención de un modo sencillo.

Pero puesto que un salto en la velocidad o en la velocidad angular, como está representado en la Figura 4a o 4b, no es posible (¡la aceleración máxima está limitada para cada eje!), debe redondearse el perfil de velocidad de las Figuras 4a y 4b de manera que no aparezca ningún área no diferenciable de forma continua (saltos, cambios). Esto puede realizarse por ejemplo por medio de filtros, como los que están descritos en el documento EP 864952 A1 que se ha mencionado al principio. Si se pasa el salto en la velocidad para cada uno de los ejes por un filtro de este tipo, aparece una especificación para el movimiento lineal filtrado 30 o el movimiento angular filtrado 31. A este respecto, en el estado de la técnica se fijó la atención en practicar el redondeo de los perfiles de velocidad en la misma medida para todos los ejes X, Y, Z, A, B para mantener un movimiento sincrónico de todos los ejes. Se puede denominar esto también gestión de velocidad sincrónica para todos los ejes. Esto tuvo la consecuencia de que el redondeo del perfil de velocidad debía realizarse siempre de manera tal que el eje con la menor aceleración máxima (o también aquel con el menor tirón máximo) no se sobrecargara. La dinámica de los ejes restantes por lo tanto no se aprovechó.

Pero puesto que habitualmente justo los ejes angulares A, B son menos dinámicos que los ejes lineales X, Y, Z se propone aplicar ahora en lugar de la gestión de velocidad sincrónica para todos los ejes X, Y, Z, A, B una gestión de velocidad separada para los ejes angulares A, B y los ejes lineales X, Y, Z. Los saltos de velocidad en los ejes angulares A, B deben redondearse ahora más fuertemente que los saltos de velocidad en los ejes lineales X, Y, Z. Para esto se nivela por ejemplo el perfil de velocidad de los ejes angulares A, B por otros filtros preferiblemente más sensibles que el perfil de velocidad de los ejes lineales X, Y, Z. Esto puede suceder a través de una parametrización distinta de un tipo de filtro (por ejemplo, filtro de paso bajo) o a través de distintos tipos de filtro (por ejemplo, filtro de paso bajo duro para los ejes lineales X, Y, Z y filtro triangular sensible para los ejes angulares A, B).

En la Figura 4b, la curva 32 representa el perfil de velocidad del eje angular B de acuerdo con una filtración correspondientemente más sensible. Se reconoce que ahora aparecen aceleraciones menores que con la gestión de velocidad sincrónica de acuerdo con la curva 31. Se da una mejora de la calidad superficial de la pieza de trabajo 3, ya que mediante la menor aceleración que aparece en los ejes angulares A, B con la gestión de velocidad separada se da una mejor fidelidad de trayectoria. Es decir, el eje angular B puede mantener mejor una trayectoria teórica de acuerdo con la curva 32 que una trayectoria teórica de acuerdo con la curva 31.

Sin embargo, también puede conseguirse un aumento de la velocidad si se aprovecha el hecho de que los ejes angulares A, B ahora presentan una "reserva de aceleración". Si se aumenta la velocidad de trayectoria prefijada en conjunto, los ejes angulares A, B se acercan de nuevo a su límite, pero en conjunto todos los ejes X, Y, Z, A, B alcanzarán ahora más rápidamente el punto final 11 desde el punto de partida 10. Queda a la voluntad del programador de un programa de piezas cuál de los dos efectos quiere utilizar preferiblemente. Una posibilidad de influir en el efecto de la gestión de velocidad separada en una u otra dirección consiste en prefijar separadamente la medida del redondeo de un perfil de velocidad para ejes lineales X, Y, Z y ejes angulares A, B, por tanto, ajustar correspondientemente, por ejemplo, los parámetros del filtro. De este modo se podrían prefijar separadamente para el filtro para los ejes lineales X, Y, Z y para el filtro para los ejes angulares A, B tolerancias, que establecen una desviación máxima del movimiento lineal 20 o el movimiento angular 21 prefijado por el programador. Cuanto mayor sea esta tolerancia prefijada, más sensiblemente se comportará el respectivo filtro y más fuertemente se redondeará el respectivo perfil de velocidad.

Para el método de control de trayectoria de acuerdo con la invención con gestión de velocidad separada es esencial que a pesar del movimiento ya no sincrónico entre los ejes lineales X, Y, Z y los ejes angulares A, B, el punto de ataque de la herramienta 2 sobre la pieza de trabajo 3 permanezca inalterado, es decir, sobre la trayectoria prefijada originalmente por el programador. De este modo en la estabilidad dimensional de la pieza de trabajo no cambia nada. La diferencia reconocible en la Figura 4b entre las curvas 31 (gestión de velocidad sincrónica) y 32 (gestión de velocidad separada) representa la desviación del eje angular B de la gestión de velocidad sincrónica. Esta desviación debe por tanto corregirse mediante movimientos de compensación en los ejes lineales X, Y, Z para mantener una trayectoria resultante de la punta de la herramienta 2 con relación a la pieza de trabajo 3, que

corresponde a la gestión de velocidad sincrónica. Este objetivo puede asumirlo la unidad RTCP 6.

5 Exclusivamente los ejes lineales X, Y, Z deben moverse de modo sincrónico, mientras que los ejes angulares A, B pueden controlarse con una gestión de velocidad separada. La unidad RTCP 6 tiene en cuenta las posiciones que se desvían de las posiciones teóricas sincrónicas de la herramienta 2 y mantiene el punto de ataque de la herramienta 2 en la pieza de trabajo 3 sobre la trayectoria teórica.

10 Las anteriores consideraciones se llevaron a cabo por medio de una aceleración limitada en los ejes angulares. Se habló de una gestión de velocidad. Naturalmente también están puestos límites a las mayores derivaciones de la trayectoria de herramienta, por ejemplo, la modificación máxima de la aceleración, es decir, el tirón. De esto modo no sólo son imposibles los saltos en la velocidad, sino también los cambios. Por tanto debe redondearse también un cambio en la velocidad. Pero puesto que estas magnitudes se determinan mutuamente de modo respectivo a excepción de las constantes, las consideraciones sirven también para una limitación por medio del tirón máximo. En este sentido puede entonces hablarse también de una gestión de aceleración sincrónica o separada.

15 La especificación del movimiento entre herramienta (2) y pieza de trabajo (3) también puede efectuarse a través de otros métodos, como se describe en el ejemplo. De este modo, en los Controles Numéricos modernos (5) es posible programar programas de piezas con funciones spline o NURBS, mediante las que pueden prefijarse trayectorias curvas sin saltos en el perfil de velocidad o aceleración. Aquí también se prefijan al fin y al cabo perfiles de velocidad (o perfiles de aceleración), cuya ejecución de acuerdo con la invención puede realizarse con una gestión de  
20 velocidad separada para ejes lineales X, Y, Z y ejes angulares A, B.

## REIVINDICACIONES

1. Método de control de trayectoria en al menos dos ejes lineales (X, Y, Z) y al menos un eje angular (A, B), en el que se prefija el movimiento de una herramienta (2) frente a una pieza de trabajo (3) mediante un programa de piezas para un Control Numérico (5), en el que la gestión de velocidad en el Control Numérico (5) se efectúa separadamente para los ejes lineales (X, Y, Z) y los ejes angulares (A, B), **caracterizado por que** los perfiles de velocidad en los ejes angulares (A, B) se redondean más fuertemente que los perfiles de velocidad en los ejes lineales (X, Y, Z), corrigiéndose desviaciones que surgen de la gestión de velocidad separada del movimiento entre herramienta (2) y pieza de trabajo (3) mediante movimientos de compensación de los ejes lineales (X, Y, Z), de manera que para una desviación dada de los ejes angulares (A, B) de una gestión de velocidad sincrónica de todos los ejes (X, Y, Z, A, B) el punto de ataque de la herramienta (2) sobre la pieza de trabajo (3) permanece constante.
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que para el redondeo de perfiles de velocidad en los ejes angulares (A, B) se utilizan filtros más sensibles que para el redondeo de perfiles de velocidad en los ejes lineales (X, Y, Z).
3. Método de acuerdo con la reivindicación 2, en el que para el redondeo de perfiles de velocidad en los ejes angulares (A, B) se utilizan filtros triangulares.
4. Método de acuerdo con la reivindicación 2 ó 3, en el que para el redondeo de perfiles de velocidad en los ejes lineales (X, Y, Z) se utilizan filtros de paso bajo.
5. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que se prefija separadamente una medida para el redondeo para perfiles de velocidad para los ejes angulares (A, B) y los ejes lineales (X, Y, Z).
6. Método de acuerdo con la reivindicación 5, en el que para los ejes angulares (A, B) y los ejes lineales (X, Y, Z) se prefijan respectivamente tolerancias propias para el redondeo de perfiles de velocidad.
7. Método de acuerdo con la reivindicación 5, en el que para los ejes angulares (A, B) y los ejes lineales (X, Y, Z) se prefijan respectivamente distintos parámetros de filtro para el redondeo de perfiles de velocidad.

FIG. 1

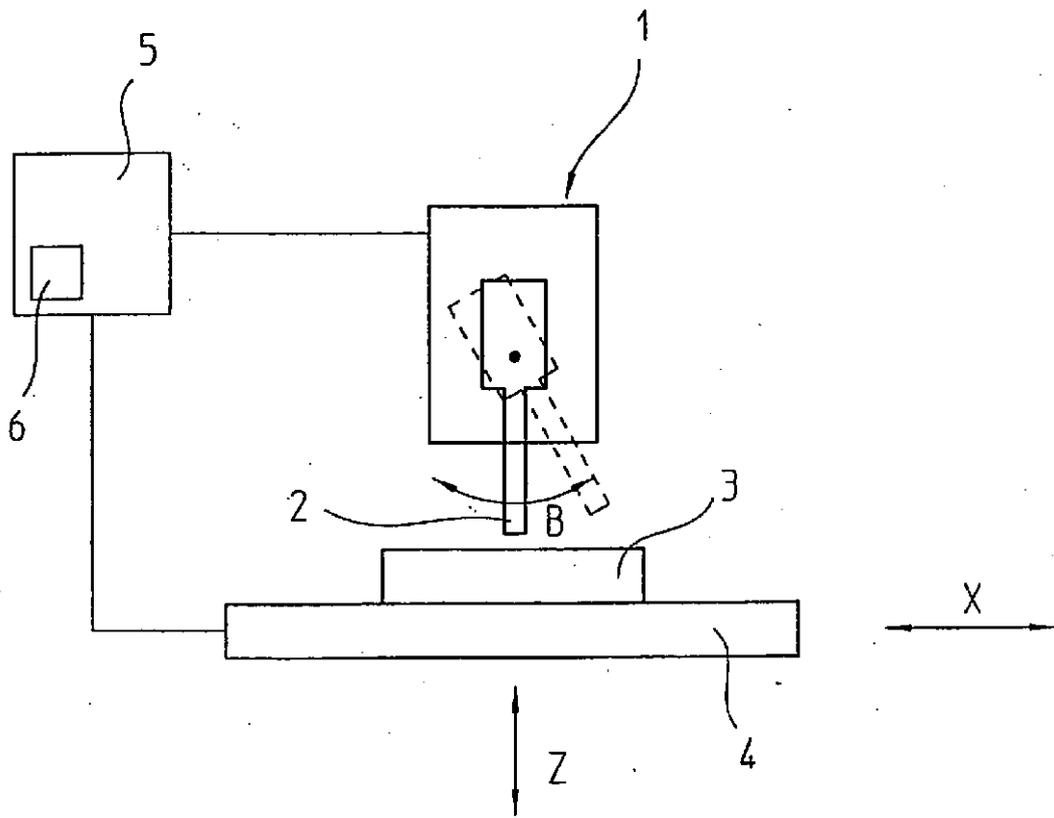


FIG. 2a

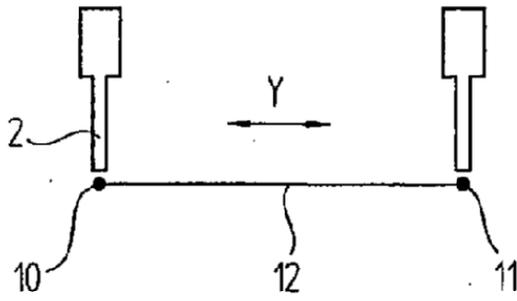


FIG. 2b

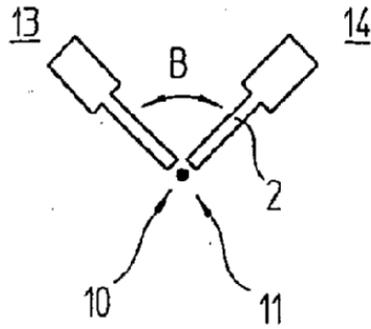


FIG. 3a

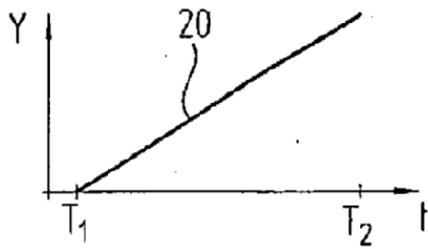


FIG. 3b

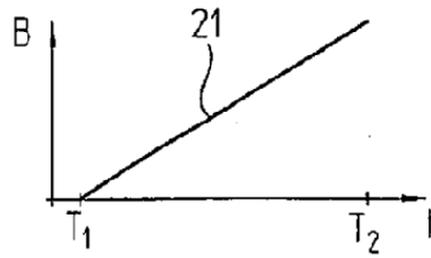


FIG. 4a

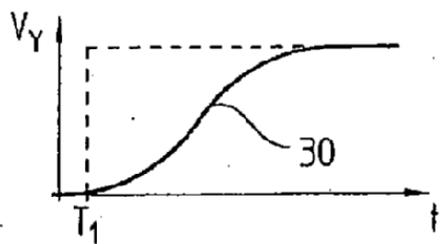


FIG. 4b

