

374496

374496

Memoria descriptiva

17 FEB. 1970



SECCION TECNICA
CLASIFICACION I. P. C.
CLASE <u>B-23</u>
SUBCLASE <u>Q</u>

para solicitar PATENTE DE INVENCION por 20 años

a nombre de INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION

entidad / ~~de~~ nacionalidad norteamericana

con domicilio en Armonk, N.Y., Estados Unidos de América.

por: "UN SISTEMA DE MAQUINA-HERRAMIENTA CONTROLADA NUMERICAMENTE" (Clase Internacional G 07c)



97

La presente invención se refiere a aparatos para situar en posición objetos relativamente móviles unos respecto a otros con exactitud. Más en particular, se refiere a métodos y aparatos para controlar con exactitud las posiciones relativas de una pieza de labor y una herramienta en sistema de máquina herramienta numéricamente controlados.

Es ya conocido el recurso de suministrar información de posición a los controles para cada eje geométrico de una máquina herramienta, en forma de dos ondas cuadradas o rectangulares. Una de las ondas rectangulares es una señal de referencia que tiene una frecuencia determinada, mientras la otra onda rectangular es una señal de mando de posición, que tiene un desplazamiento de fase variable respecto a la señal de referencia. Las variaciones de este desplazamiento de fase están relacionadas con el movimiento relativo deseado entre la pieza de labor y el cabezal de corte de la máquina herramienta. La máquina herramienta contiene por cada eje geométrico un discriminador de fases, un dispositivo de resolución o transformador de coordenadas (detector de posición), unos amplificadores, perfilados de ondas y medios de mover la pieza de labor o el cabezal de corte. Todos los ejes geométricos del sistema responden simultáneamente a la diferencia de fase entre una señal de retroacción indicativa de posición y la señal de mando de posición apropiada, efectuando el movimiento a lo largo de un trayecto deseado.

La señal de referencia establece el régimen de tiempos o sincronismo básico para todos los ejes de la máquina herramienta, y se lleva a cada detector posicional



J7F

de eje para generar la señal de retroacción. La señal de referencia se obtiene típicamente por vigilancia del dispositivo de báscula de orden superior de un contador de referencia, alimentado por un oscilador de referencia de tipo continuo. La señal de referencia tendrá una frecuencia igual a la del oscilador de referencia dividida por el número de condiciones de recuento o cómputo del contador de referencia. Para cada eje geométrico de la máquina herramienta hay un contador de posición de eje, que recibe también una entrada del oscilador de referencia. Un interpolador lineal suministra comúnmente entradas adicionales a cada contador de posición de eje geométrico. Estas entradas adicionales comprenden unos trenes o corrientes de impulsos que contienen información de distancia y unos impulsos que contienen información de dirección o sentido. Según el sentido de movimiento que se desee, los impulsos de información de distancia se sumarán o se restarán del contador de posición de eje geométrico. La señal de mando de posición se obtiene vigilando la báscula de orden superior del contador de posición de eje geométrico.

Los interpoladores lineales comúnmente utilizados en la técnica ya conocida desarrollan unos trenes de impulsos para indicar distancia por adición repetitiva. Supongase, por ejemplo, que se desea contornear un segmento rectilíneo en dos dimensiones, tales que $\nabla X = 8333$ unidades y $\nabla Y = -6250$ unidades. Usualmente, ∇X y ∇Y se convierten en un tren o corriente relativamente uniforme de 8333 y 6250 impulsos, respectivamente, sumando cada uno de los números 10.000 veces en un registro de cuatro

374496



posiciones por separado y generando un impulso cada vez que tiene lugar un desbordamiento. Si la resolución deseada para el regulador de la máquina herramienta es de 2,54 micras (es de cir, cada "unidad" tiene 2,54 micras) y la máxima velocidad de recorrido de la máquina herramienta es de 127 mm por segundo, por cada eje geométrico de movimiento de la máquina herramienta el interpolador lineal necesitaría entonces poder efectuar 50.000 adiciones por segundo para generar las señales de control que permitieran a la máquina moverse en las proximidades de su máxima velocidad de recorrido. En el caso del ejemplo dado más arriba, las 20.000 adiciones (10.000 por cada uno de los ejes X e Y) necesitarían ejecutarse en dos décimas de segundo, para mantener el movimiento de la máquina a una velocidad próxima a su máxima velocidad de recorrido.

La principal desventaja de la técnica ya conocida, arriba descrita, se refiere a la velocidad con la que es preciso efectuar las operaciones aritméticas. Si la máquina herramienta se ha de mantener moviéndose a un régimen próximo a su máxima velocidad de recorrido, resultará en general impracticable el empleo de una calculadora programada de uso general para efectuar la interpolación. Por ejemplo, una máquina herramienta de tres ejes que tenga una resolución de 2,54 micras y una velocidad máxima de recorrido de 127 milímetros por segundo necesitaría un interpolador que pudiera efectuar 150.000 adiciones por segundo (50.000 adiciones por segundo por cada eje). Si se fuera a utilizar una calculadora de uso general como interpolador, sería razonable suponer que se necesitasen

374496

17 FEB



5 por lo menos cinco pasos de programación por cada adición para seguir la pista de cual era el eje sobre el que se estaba operando, y efectuar o satisfacer diversos requisitos de régimen interior. Por consiguiente, una calculadora de uso general necesitaría ejecutar del orden de 750.000 pasos de programación por segundo, para poder controlar una máquina herramienta. Es por esta razón por lo que la técnica ya conocida recurre en general a una máquina de usos especiales para efectuar la interpolación. Ahora bien, estos interpoladores de usos especiales son costosos, y por lo general se necesita uno para cada máquina herramienta, en un sistema de varias máquinas herramientas.

15 Otra desventaja del enfoque de la técnica ya conocida arriba mencionado es la de su susceptibilidad a la pérdida de datos debida a perturbaciones o "ruidos". Si la presencia de perturbaciones en una línea de transmisión hace que el sistema no reconozca la presencia de un impulso, o hace que el sistema tome equivocadamente el ruido por un impulso cuando no hay ninguno de estos presente, la exactitud del trabajo hecho por la máquina herramienta resultará afectada de modo adverso. En algunos sistemas de la técnica ya conocida se ha intentado superar este problema utilizando un equipo de resolución más fina que la exactitud que realmente se necesita. Este método permite en general mantenerse dentro de las tolerancias convenientes, a pesar de la acumulación de errores producida por las perturbaciones en los enlaces de transmisión. Ahora bien, esta solución del problema introduce como contrapartida la desventaja de aumentar el coste del sistema de

12.2.70

374496

17F



máquina herramienta.

Las indicadas y otras desventajas de la técnica ya conocida se superan, con arreglo a uno de los aspectos de esta invención, disponiendo un aparato que convierte
5 la información numérica de entrada ($\nabla X, \nabla Y, \nabla Z$, etc.) en información analógica de salida (señales de mando de posición) sin utilizar interpolador lineal. El interpolador lineal está sustituido por un generador de señales de bordes o de deslinde, que acepta los datos numéricos y genera
10 partiendo de éstos, un número por cada borde de ataque y por cada borde de salida de la señal de mando de posición para cada eje geométrico. Los contadores bidireccionales relativamente complejos de la técnica ya conocida se sustituyen por unos registros de posiciones de eje, para almacenar los números generados por el generador de señales
15 de borde. De igual manera que en la técnica ya conocida se usan un oscilador de referencia y un contador de referencia para desarrollar una señal de referencia. Un comparador asociado a cada registro de posiciones compara continuamente el contenido del registro de posiciones con el
20 contenido del contador de referencia, y da una señal de salida siempre que ambos contenidos son exactamente iguales. Esta señal de salida se usa para cambiar el estado de un circuito de báscula binario, y puede emplearse para
25 indicar que es preciso colocar un número nuevo en el registro de posiciones de eje asociado. El circuito de báscula binario almacena un nivel (1 o 0), e invierte el nivel con cada salida del comparador. La salida del circuito de báscula binario se usa para generar la onda rectangular de
30 mando de posición para su eje asociado, de la máquina he-

374496



177E

herramienta.

Para una máquina herramienta que tenga una resolución de controlador de 2,54 micras y una velocidad de recorrido de 127 mm por segundo, las señales de mando de posición tendrán, típicamente, una frecuencia del orden de 200 a 250 c/s. Esto significa que habrá como típico del orden de 400 o 500 bordes (variaciones u oscilaciones ascendentes y descendentes) por segundo en la señal de mando de posición. Así, el generador de señales de borde rara vez necesitará generar más de 500 números por segundo para cada eje de una máquina herramienta. Esto representa una mejora de 100:1 respecto a la técnica ya conocida, expresada en número de cálculos que es preciso hacer por unidad de tiempo. El método utilizado por el generador de señales de borde de esta invención para generar datos de borde es más complejo que el utilizado por los interpoladores de la técnica ya conocida para generar impulsos. Ahora bien, la velocidad a que debe trabajar el generador de señales o de datos de borde es tan reducida, en comparación con la necesaria en un interpolador de la técnica ya conocida, que todavía pueden obtenerse apreciables economías.

Una de las ventajas del presente invento sobre la técnica ya conocida está precisamente en su coste de realización. Una de las razones por las que esta invención será menos costosa de realizar físicamente es la de que puede hacer uso, de modo efectivo, de circuitos de velocidad relativamente baja. Asimismo, en relación con esto, es de notar que la velocidad a la que los interpoladores ya conocidos deben efectuar sus cálculos varía linealmente

374496



5 con los aumentos de resolución o de velocidad de recorrido de la máquina herramienta. En otros términos, si se quieren aumentar en un factor de 2 la resolución y la velocidad de recorrido, un interpolador de la técnica ya conocida tendría que efectuar sus cálculos cuatro veces más deprisa. En cambio, con el presente invento, la frecuencia de cálculo depende de la frecuencia de las señales de mando de posición, y esta frecuencia es mucho menor, dependiendo de la resolución y de la velocidad de recorrido.

10 Otra ventaja de esta invención, que se desprende de su baja frecuencia de cálculo, es la de que resulta más práctico utilizar una calculadora programada de uso general para la generación de números de borde. En el estudio de la técnica ya conocida realizado más arriba, se hizo
15 notar que una calculadora de uso general necesitaría ejecutar aproximadamente 750.000 pasos de programación por segundo, para poder controlar una máquina herramienta de tres ejes con una resolución de 2,54 micras y una velocidad de recorrido de 127 mm/s. Aunque el método usado por
20 esta invención, para la generación de números de borde hubiese de necesitar doble número de pasos de programación que el requerido por la técnica ya conocida para cada cálculo, solamente sería necesario que la calculadora numérica programada ejecutara 15.000 etapas de programación
25 por segundo, para controlar dicha máquina herramienta.

Otra ventaja de esta invención es la relativa a la criticidad de la regulación de tiempos. En un interpolador de la técnica ya conocida, capaz de suministrar
30 50.000 impulsos por segundo a cada eje, el intervalo de tiempo para cada impulso es de sólo veinte microsegundos

374496

17 FEB



de duración. Para el presente invento, cada número de
borde sucesivo debe ser suministrado dentro de un interva
lo de tiempo de aproximadamente 2000 microsegundos de du-
ración. Este intervalo de tiempo relativamente largo con-
duce a la ventaja adicional de que una calculadora numé-
rica programada podría suministrar números de borde a los
diversos registros de posiciones de eje en un tiempo real, y aún
sería capaz de controlar una pluralidad de máquinas herra-
mientas de varios ejes, o ejecutar otros cálculos utilizan-
do métodos de interrupción ya conocidos.

Otra característica de la presente invención es
la de que el método mediante el cual se regeneran números
de borde (descrito con mayor detalle más adelante) tiene
en consideración todos los números de borde previamente
generados durante el transcurso de un solo corte en línea
recta. Esto conduce a la ventaja adicional de que un e-
rror que pudiera haber sido introducido por un enlace de
transmisión perturbado o "ruidoso" será compensado por su-
cesivas transmisiones correctas. Ello conduce a su vez a
otra ventaja: la de no ser necesario que las máquinas he-
rramientas usadas en unión del presente invento sean pro-
yectadas para poder obtener una resolución apreciablemen-
te mayor que la requerida por el trabajo que se pretende
efectuar.

Otra ventaja más de esta invención está en que
su rendimiento, en comparación con la técnica ya conocida,
se hace realmente mayor al mejorarse la resolución y la
velocidad de recorrido de la máquina herramienta.

Los indicados y otros objetos, características
y ventajas de la invención se irán desprendiendo de la si-

374496



guiente descripción pormenorizada de unas formas preferidas de realización del invento, ilustradas en los dibujos adjuntos, en los cuales:

- 5 - la figura 1 es un esquema general funcional o por bloques de un sistema de máquina herramienta numéricamente controlada, de la técnica ya conocida;
- la figura 2 es un esquema general funcional de una máquina numéricamente controlada, construida con arreglo a este invento;
- 10 - la figura 3 ilustra ciertos detalles de los servomandos citados en las figs. 1 y 2;
- la figura 4 ilustra una señal de referencia y dos señales de mando de posición;
- la figura 5 ayuda a ilustrar la manera de ser generados los números de borde por la presente invención;
- 15 - la figura 6 ayuda a ilustrar la manera de ser efectuada la corrección de números de borde al comienzo de un nuevo corte;
- la figura 7 es un esquema funcional que ilustra los tres subsistemas principales de la presente invención;
- 20 - la figura 8 es un esquema de flujo de información que ilustra la metodología del presente invento;
- la figura 9 ilustra el subsistema generador de datos de borde;
- 25 - la figura 10 ilustra el subsistema analógico de fase;
- la figura 11 ilustra el subsistema de control de ciclos;
- 30 - la figura 12 ilustra uno de los medios para



atenuación de la velocidad de alimentación;

- la figura 13 ilustra unos circuitos que permiten un predominio de control manual sobre la velocidad de alimentación; y

5 - la figura 14 es un esquema general funcional de un sistema de máquina herramienta con servomando numérico y de retroacción, construido con arreglo a otro aspecto del presente invento.

Descripción detallada.

10 La fig. 1 ilustra en esquema funcional diversos elementos de un sistema de máquina herramienta numéricamente controlado, con arreglo a la técnica ya conocida. Un interpolador 1 acepta datos numéricos que representan las distancias de movimiento en cada eje para un corte
15 rectilíneo dado. Partiendo de estos datos, el interpolador genera, por cada eje de movimiento, un tren o corriente de impulsos en el que cada impulso indica un incremento de movimiento. Por cada eje, el interpolador genera también una señal que indica la dirección o sentido de movimiento.
20 Un oscilador de referencia 2 suministra señales a un contador de referencia 3 cuyo circuito de báscula de orden superior produce una señal de referencia, de perfil rectangular o cuadrado, en la línea 4. La salida del oscilador de referencia 2 se lleva también a un contador 5 de eje X y un contador 6 de eje Y. (En una máquina que tenga más
25 de dos ejes de movimiento, habría también un contador por cada eje adicional.) El contador 5 de eje X recibe del interpolador señales de control de sentido e impulsos X; y el contador 6 de eje Y recibe también del interpolador
30 señales de control de sentido e impulsos Y. Los impulsos

374496



recibidos del interpolador se suman o se restan de los
contadores respectivos, de acuerdo con las señales de con-
trol de sentido apropiadas. El circuito de báscula de or-
den superior del contador de eje X se usa para generar,
5 por la línea 7, una señal de onda rectangular, de mando
de posición de X; y el circuito de báscula de orden supe-
rior del contador de eje Y se usa para generar por la lí-
nea 8 una señal de onda rectangular, de mando de posición
de Y. La señal de referencia presente en la línea 4 y
10 las de posición ordenada o mandada, presentes en las lí-
neas 7 y 8, se llevan a los servocontroles y a la máquina
herramienta 9. Dentro de los controles y de la máquina
herramienta 9, la diferencia de fase variable entre una
señal de mando de posición y la señal de referencia sumi-
15 nistra información de control para mover una bancada móvil.
En los controles y máquina herramienta 9 hay contenidos
unos discriminadores de coordenadas (detectores de posi-
ción), unos amplificadores, unos perfiladores de ondas,
y medios para mover la pieza de labor o el cabezal de cor-
20 te. Todos estos dispositivos son ya bien conocidos en la
técnica del ramo y no necesitan describirse aquí.

Con referencia a la fig. 2, se ilustra en ella,
en esquema funcional simplificado, un sistema de máquina
herramienta numéricamente controlada, construido conforme
25 al presente invento. Las partes del sistema que pueden
ser idénticas a las utilizadas en el de la técnica ya co-
nocida, arriba indicado, son el oscilador de referencia 2,
el contador de referencia 3 y el conjunto de servocontro-
les y máquina herramienta 9. El sistema comprende también:
30 un generador 10 de datos de borde, para generar números

374496

17 FEB



que representan la posición en el tiempo de los bordes de ataque y de salida de las señales de onda rectangular de mando de posición; un registro 11 de posiciones de eje X y un registro 12 de posiciones de eje Y para almacenar los números de borde; una unidad comparadora (13, 14) asociada a cada registro de posiciones de eje; y un circuito de báscula binario (15, 16) asociado a cada unidad comparadora, para generar señales de mando de posición.

La entrada al generador de datos de borde 10 comprende unos datos numéricos que indican la distancia de recorrido por cada eje de la máquina herramienta, para un corte rectilíneo dado. El generador de datos de borde opera con estos datos de entrada de una manera determinada, generando una serie de números que representan los bordes de ataque y de salida (a los que aquí se hace referencia en general con el nombre genérico de "bordes") de las señales de mando de posición que se van a llevar a la máquina herramienta. Para que se puedan guardar los diversos números de bordes, una salida del generador de datos de borde va conectada a un registro de posiciones 11 de eje X, y otra salida de generador 10 de datos de borde va conectada a un registro de posiciones 12 de eje Y. (En un sistema de máquina que tenga más de dos ejes, habría también un registro de posiciones de eje Z recibiendo señal del generador 10 de datos de borde, y un registro de posiciones similar para cada eje adicional). El contenido del registro de posiciones 11 de eje X se compara con el contenido del contador de referencia 3 mediante un comparador 13, para cada valor de recuento después de que el oscilador 2 hace avanzar este recuento.

374496

17 FEB



Cada vez que se detecte una comparación positiva de igualdad, una señal de salida del comparador 13 producirá una inversión o cambio del estado del circuito de báscula binario 15. La señal de salida del comparador 13 se lleva
5 asimismo en retroacción al generador 10 de datos de borde haciendo que este último ponga el siguiente número de borde en el registro 11 de posiciones de eje X. La salida del circuito de báscula binario 15 se convierte en señal de mando de posición de X. De igual modo, se compara el con-
10 tenido del registro 12 de posiciones de eje Y con el contenido del contador de referencia 3, para cada valor de compuesto o recuento de referencia, por medio de un comparador 14 que genera una señal de salida al detectarse una
15 igualdad o señal positiva de comparación. Esta señal de salida se lleva en retroacción al generador 10 de datos de borde, para indicar que es preciso suministrar un nuevo número de borde al registro de posiciones 12 de eje Y. La señal de salida del comparador 14 se lleva también a
20 un circuito de báscula binario 16, modificando su estado y haciendole generar la señal de mando de posición de Y. Como en la técnica ya conocida, la señal de referencia y las señales de mando de posición se llevan al conjunto de controles y máquina herramienta 9, para hacer que tenga lugar el movimiento apropiado. Las señales de salida de
25 los comparadores se utilizan para hacer que el generador 10 de señales de borde suministre otros datos más a los registros de posiciones de eje.

Otros detalles de los servocontroles se ilustran en la fig. 3. Como en este se indica, la señal de referencia se lleva a un perfilador de onda 17 que envía luego
30



señales de regulación de tiempo a un detector de posiciones 18 para cada eje de la máquina herramienta 19. El detector de posiciones vigila la posición de la máquina herramienta, desarrollando una señal indicativa de la verdadera posición de uno de los ejes de movimiento de la herramienta. Esta señal de posición real y efectiva es conformada por un perfilador 20 y enviada luego a un discriminador de fases 21. El discriminador de fases recibe también la señal de mando de posición. La señal de posición efectiva (que representa la posición real y efectiva de un determinado eje) y la señal de mando de posición (que representa la posición deseada para este eje) son comparadas por el discriminador de fases 21, que da una señal de salida indicativa de la diferencia de fases existente entre la señal de posición efectiva y la señal de mando de posición, o de posición deseada. La señal de diferencia de fases es amplificada por un amplificador 22 y llevada luego al servomando de accionamiento 23, que controla una fuente de alimentación 24, para efectuar el movimiento de la máquina herramienta 19 según el eje en cuestión. Si bien en lo que antecede se ha hablado sólo de mandos o controles de eje X, se sobrentiende que cada eje de movimiento de la máquina herramienta está controlado de manera semejante. El movimiento del eje de la máquina herramienta cesa cuando la señal de retroacción transportada por la línea 25 está en fase con la señal de posición deseada.

En los sistemas de este tipo en los que el circuito de báscula de orden superior de un contador genera una señal de perfil rectangular o cuadrado, será preferi-

374496



ble en general emplear un contador que funcione con arreglo a un código de 5 4 2 1 para funcionamiento en decimal, o a un código para funcionamiento en binario.

5 La razón de que un contador decimal de este tipo resulte especialmente adecuado para su uso como contador de referencia es la de que el circuito de báscula de orden superior se hallará en cada uno de sus estados (cero o uno) durante un número consecutivo de períodos, igual a la mitad del número total de estados de contador admisibles. Es decir, en un contador de tres órdenes decimales o décadas, que pueda representar los números de 0 a 999, 10 el circuito de báscula de orden superior de la tercera década se hallará en su estado de cero cuando el contador esté representando los números de 0 a 499, y en su estado de uno cuando el contador esté representando los números 15 de 500 a 999. La línea de salida de uno del circuito de báscula de orden superior llevará una onda rectangular o cuadrada, de una frecuencia mil veces menor que la del oscilador de referencia. Naturalmente, como reconocerán las 20 personas versadas en la materia, pueden escogerse otros contadores adecuados.

25 Antes de pasar a una descripción más detallada del aparato utilizado para poner en práctica esta invención, se desarrollará y describirá la metodología en que esta última descansa.

30 Considerese la situación en que la señal de referencia cambia de nivel sistemáticamente para los valores de cero y 500 del contador de referencia. Si los valores

374496



- (1) $500 + \epsilon$
- (2) 2ϵ
- (3) $500 + 3 \epsilon$

5 se colocarán consecutivamente en el registro A de posiciones de eje, con la adecuada separación en el tiempo, se produciría entonces un desplazamiento de fase de ϵ , 2ϵ y 3ϵ para los tres bordes consecutivos de la señal A. Para la señal B se produce un desplazamiento inverso, de magnitudes comparables, caso de suministrarse los valores de
10 señal B siguientes:

- (1) $500 - \epsilon$
- (2) $1000 - 2\epsilon$
- (3) $500 - 3\epsilon$

15 La fig. 4 ilustra la señal de referencia y las señales de mando A y B.

El problema de controlar cada eje de la máquina herramienta resiste principalmente en anticipar cada valor consecutivo de borde de las señales de mando de posición basándose en la velocidad, exactitud y sentido deseados del trayecto de la herramienta cortante a lo largo de la
20 pieza de labor y colocar luego dichos valores en los registros de posiciones de eje, en los instantes apropiados.

Considérese primero el problema de los contadores que funcionen a diferentes frecuencias de recuento:

- 25 N_1 = frecuencia de recuento del contador nº 1
- N_2 = frecuencia de recuento del contador nº 2
- $E_1 = N_1 \cdot t$ = valor instantáneo de recuento en nº. 1
- $E_2 = N_2 \cdot t$ = valor instantáneo de recuento en nº 2
- t = tiempo

30 Suponiendo $N_1 > N_2$,

374496



$$N_1 \cdot t = (N_2 \cdot t) \div h$$
$$t = h / (N_1 - N_2) ,$$

donde (t) es igual al valor de tiempo en que los dos con-
tadores contienen valores iguales, si al contador más len-
to se le da un valor inicial (h). Además, el valor de re-
cuento de igualdad es:

$$E_1 = E_2 = N_1 \cdot t = h \cdot \frac{N_1}{N_1 - N_2} .$$

Para la señal de posición de eje indicada en la
fig. 5, la deducción anterior de la ecuación siguiente:

$$E_{i1} = h \cdot \frac{N_R}{N_R \div N_i} \quad (1)$$

en la que:

E_{i1} = primer valor o número de borde a colocar
en el registro de posiciones al principio del vector de
corte para el eje de orden i .

h = constante igual al valor de mitad de recuen-
to del contador de referencia.

N_R = constante igual a la frecuencia del oscila-
dor de avance del contador de referencia

N_i = valor de desplazamiento normalizado del eje
de orden i para el vector de corte (componente de velocidad
de eje, véase más adelante, al hablar de ecuaciones (4) y
(5). El signo de N_i es el mismo del sentido de eje
(- directo; + inverso).

La ecuación (1), al ser utilizada para calcular
el primer valor de borde, supone el caso atípico en que
las ondas rectangulares del mando de posición o posición

374496



17

deseada y de la posición de referencia están inicialmente en fase, al empezar un nuevo vector de corte. En el caso general, E_{i1} representa la distancia de separación entre los bordes consecutivos que siguen al primer borde. Por consiguiente, los bordes sucesivos del vector de corte pueden generarse sumando E_{i1} al valor de borde precedente. Por lo tanto:

5

10

$$\begin{aligned}
 E_{i2} &= E_{i1} + E_{i1} \\
 E_{i3} &= E_{i2} + E_{i1} \\
 E_{i4} &= E_{i3} + E_{i1} \\
 &\dots \dots \dots \\
 E_{i(n)} &= E_{i(n-1)} + E_{i1} \quad (2)
 \end{aligned}$$

15

Una variante de generación para valores de borde sucesivos es la siguiente:

$$E_{i(n)} = n \cdot E_{i1} \quad (3)$$

20

En general se preferirá la ecuación (2) a la ecuación (3), ya que la adición suele ser más sencilla que la multiplicación en lo que concierne a su realización física mediante aparatos.

25

En la ecuación (2) o en la (3), se usa precisamente la parte entera del número de borde calculado, descartándose el entero superior (desbordamiento) y las porciones fraccionarias en los registros de posiciones de eje.

300

La porción fraccionaria no se usa porque el servosistema está proyectado para funcionar con una resolución prefijada. Es decir, una unidad posicional (posición de unidades del valor de borde) de la base numérica es representativa de una resolución de 2,54 micras en este ejem

17 FEB



5 plo. La porción fraccionaria de los números da unas designaciones de posición que se pasa de 2,54 micras y, por lo tanto, no son requeridas por los servocontroles. Pueden proyectarse servosistemas de mayor resolución, que
10 exceda o se pase de 2,54 micras, y que utilicen así la componente fraccionaria del número; o bien puede hacerse variar el sistema numérico de modo que la posición de las unidades sea representativa de 0,254 micras, o bien otra resolución cualquiera conveniente. Las porciones fraccionarias de los números de borde, no obstante, son arrastradas o acumuladas en sucesivas generaciones de valores de borde a fin de mantener la exactitud deseada, que de no ser así se perdería por acumulación de errores de redondeo.

15 Las porciones de orden superior de los valores de borde que sobrepasen 999 tampoco se usan en este ejemplo, puesto que se supone un servosistema incremental. Tal servosistema mantiene el control posicional durante una rotación del husillo de cada eje de movimiento (de 0 á 999 posiciones controlables por cada rotación). En
20 control posicional para la rotación apropiada se consigue exteriormente al servosistema para servos incrementales, o bien con lógica adicional para servosistemas absolutos. Para este último caso, pueden emplearse en el proceso directo de servomando las posiciones de orden superior de
25 los valores de borde.

30 El caso general para la generación del primer valor de orden del nuevo vector de corte tiene lugar cuando las ondas rectangulares de posición deseada y de posición de referencia están desfasadas entre vectores de corte adyacentes, o bien durante un cambio de velocidad no

374496

27 FEB



planeado (por ejemplo, un predominio de mando manual) dentro de un vector de corte. En estos casos se necesita un ajuste para el primer borde del nuevo vector de corte.

5 Con referencia a la fig. 6, supongase que se va a iniciar un cambio de velocidad que comienza en el instante (T_0). Esta condición puede aparecer cuando la máquina herramienta se está poniendo en marcha, parando, dando fin a un vector de corte anterior y dando principio a un nuevo vector de corte de modo que implique una variación de velocidad de ejes, y también durante un cambio de velocidad de avance no planeado, dentro de un vector de corte (variación manual de la velocidad de avance).

10 En la fig. 6, $E_{i(n-1)}$ es el penultimo borde del vector de corte anterior; $E_{i(n)}$ es el borde final del vector de corte anterior, y $E_{i(n+1)}$ es la posición fuera o prevista para el siguiente borde, tras el instante (T_0), suponiendo que no hubiera de producirse un cambio de velocidad. El problema se convierte entonces en el de generar una posición de borde ajustada $E'_{i(n+1)}$, sea en avance sea en retroceso respecto al borde $E_{i(n+1)}$, según se trate de un aumento o una disminución de velocidad.

20 El procedimiento para generar el ajuste de borde consiste en restar la parte del desplazamiento de fase acumulada en $E_{i(n+1)}$, a partir de T_0 , debida al vector de corte anterior; sumar luego una componente de desplazamiento de fase basada en la nueva velocidad a partir de T_0 , es decir

$$E'_{i(n+1)} = E_{i(n+1)} \left[\frac{N_R + N_I}{N_R} \right] \left[\frac{N_R}{N_R + N'_I} \right] \quad (4)$$

17 FEB



En la ecuación (4), la cantidad $E_{i(n+1)} \left[\frac{N_R \pm N_i}{N_R} \right]$ se

5 obtiene resolviendo la ecuación (1) para un (h) teórico que daría el valor de $E_{i(n+1)}$. Ese valor teórico de (h) sería el valor adecuado de $E'_{i(n+1)}$ para $N_i = 0$, a partir de T_0 . El segundo término entre corchetes de la ecuación (4) ajusta luego la posición de borde teórica basada en el nuevo N'_i aplicando otra vez la ecuación (1).

La ecuación (4) puede escribirse también así:

10

$$E'_{i(n+1)} = E_{i(n+1)} \frac{\left[1 + \frac{N_i}{N_R} \right]}{\left[1 + \frac{N'_i}{N_R} \right]} \quad (5)$$

15

donde N_i , N'_i son también las componentes de velocidad normalizadas del eje de movimiento de orden i (número i) antes y después de un cambio de velocidad, y N_R es la frecuencia del oscilador de referencia (250 kHz). Lo mismo que en la ecuación (1), los signos de N_i , N'_i se basan en el sentido de movimiento (- directo, + inverso).

20

A continuación se generan los bordes sucesivos que siguen a $E'_{i(n+1)}$ como antes, cuando el valor fijo incremental de borde (E'_{i1}) hasta el final del corte, o bien hasta el siguiente cambio de velocidad. El valor E'_{i1} se calcula usando la ecuación (1) para el nuevo N'_i . Los valores de borde sucesivos son:

25

$$E'_{i(m)} = E'_{i(m-1)} \pm E'_{i(1)} \quad (2)$$

30



En las anteriores ecuaciones (4) y (5) se ha empleado la notación con índice o apóstrofe para establecer la diferencia entre los valores del viejo y el nuevo vector de corte.

5 En general se necesita una normalización para modificar los parámetros de los vectores de corte a fin de mantener uniforme la velocidad de la herramienta, independientemente de la distancia recorrida. Por consiguiente, si la distancia de recorrido incremental para cada eje viene dada por los datos de entrada como

$$\begin{aligned}
 X &= \text{recorrido incremental de X} \\
 Y &= \text{recorrido incremental de Y} \\
 Z &= \text{recorrido incremental de Z} \quad (6)
 \end{aligned}$$

10 viniendo cada desplazamiento dado en unidades de la precisión deseada para la pieza de labor (por ejemplo, una unidad igual a 2,54 micras, 0,254 micras, etc.), la distancia de recorrido para el vector de corte (D) es entonces:

$$D = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (7)$$

20 para una máquina herramienta de tres ejes, con desplazamiento lineal de cada eje. El parámetro ψ_t se define entonces como

$$\psi_t = V_m / P, \quad (8)$$

25 donde

ψ_t = constante de la pieza de labor, igual a la velocidad máxima de desplazamiento de la señal de fase a lo largo del vector de corte (unidades de fase por segundo)

374496



V_m = velocidad tangencial máxima (efectiva) en la superficie de corte (cm/s)

5 P = desplazamiento de la herramienta por unidad de fase (cm/unidad de fase), y por consiguiente igual a la precisión especificada; los requisitos de precisión pueden modificarse con arreglo a la tolerancia especificada para la pieza.

10 La distancia de recorrido (D), dividida por la velocidad de fase (ψ_t), da el tiempo de ejecución del corte:

$$T = D/\psi_t, \quad (9)$$

donde T es el tiempo de ejecución del corte a la velocidad normal de la herramienta.

15 Para comunicar datos de posición al servosistema se emplean señales de perfil de onda rectangular o cuadrada. La frecuencia de esta señal, fija para una máquina herramienta, determina entonces el parámetro de control (R) que se necesita para establecer la "terminación del corte". Por consiguiente:

$$R = f \cdot T, \quad (10)$$

donde

R = número de ciclos o períodos de la onda rectangular de referencia necesarios para la terminación del corte a la velocidad normal

f = frecuencia de la onda rectangular de referencia

T = tiempo de corte en segundos.

30 Además, como el corte debe ser ejecutado en un número entero de períodos de la señal de referencia, es preciso hacer

374496



que R sea entero. La porción fraccionaria de la ecuación (10), por lo tanto, se desecha o se redondea al entero inmediato superior.

Basándose en el valor entero de $|R|$

$$T' = |R|/f, \quad (11)$$

donde T' viene esencialmente determinado, a partir de la ecuación (10), sin más que dividir por (f) .

Es entonces posible generar la componente normalizada de velocidad de desplazamiento de fase para cada eje de la siguiente manera sencilla:

$$\begin{aligned} N_X &= X/T' \\ N_Y &= Y/T' \\ N_Z &= Z/T' \end{aligned}$$

esto es, en general,

$$N_i = I/T', \quad (12)$$

siendo I la distancia de recorrido incremental para el eje (i).

Los N_i valores son los necesarios en las ecuaciones (1), (4) y (5) para la generación de bordes de onda cuadrada, de mando de posición. Además, el valor de R calculado por medio de la ecuación (10) es utilizado por la lógica del control para establecer el (T_0) de la Fig. 6 (final de corte).

Cuando esta invención se use para el control dinámico de grupos o baterías de máquinas herramientas, se necesitan tres subsistemas fundamentales: el subsistema generador de datos de borde; el subsistema analógico de fase; y el subsistema de control de ciclos.

La fig. 7 ilustra, en forma de esquema funcional generalizado, la manera de interconectar los tres subsis-

374496



temas. El subsistema 26 generador de datos de borde recibe datos de control numérico de entrada para cada pieza durante la producción. La forma de los datos es equivalente a la de los preparados por un ordenador ulterior tipo, como los comunmente utilizados para sistemas de control numéricos fuera de línea. El generador de datos de borde transforma los datos de posición deseada en valores de borde, con arreglo a la metodología ya indicada. Puede prepararse una tabla de valores de borde previamente generada, o bien puede generarse cada nuevo valor a petición o demanda, al recibirse una señal del subsistema lógico de control. El subsistema 27 analógico de fase recibe nuevos valores de borde del subsistema generador de ellos, y los transforma en ondas cuadradas de mando de posición, que dan unas señales de entrada a los bucles de servo de ejes de la máquina herramienta. Estas señales sirven luego para dirigir y coordinar el movimiento de cada eje de la máquina herramienta hasta obtener para la herramienta de corte el trayecto deseado a lo largo de la pieza de labor. Puede haber bajo control simultáneo un número de máquinas herramientas, cada una de ellas con varios ejes de movimiento y con piezas de trabajo individuales. El subsistema de control de ciclos 28 sirve para comunicar demandas de información procedentes del subsistema analógico de fase, al subsistema generador de valores de borde. La lógica incluye el control de acceso para cada eje, a fin de poderse multiplicar el subsistema generador de valores de borde entre todos los ejes activos.

La manera en que el sistema manipula las diversas señales de información se ilustra en el esquema funcio-

374496

17 FEB



nal de la fig. 8. El flujo de circulación de señales puede dividirse en cuatro partes o secciones básicas: (1) la iniciación, que se ejecuta una vez por cada pieza o trozo que se va a cortar; (2) la de preparación, que se ejecuta una vez por cada corte rectilíneo que se haga en la pieza de labor; (3) la de generación de números de borde que se efectúa muchas veces por cada corte rectilíneo; y (4) la de finalización, que se ejecuta al terminar el corte de la pieza de labor.

Iniciación

Quando se va a empezar el corte de una pieza de labor, es preciso suministrar al sistema ciertos parámetros de la máquina herramienta que se está usando. Son estos los siguientes: f (frecuencia de la onda rectangular de referencia); h (valor de recuento mitad del contador de referencia) N_R (frecuencia del oscilador de referencia); y ψ_t (velocidad máxima del desplazamiento de señal de fase de la máquina herramienta). Como, de acuerdo con la ecuación (5) precedente, el primer número de borde un corte rectilíneo incluye generalmente un factor de corrección relacionado con el último número de borde del corte rectilíneo anterior y con la velocidad de avance anterior normalizada para cada eje, es conveniente, en la fase de iniciación, seleccionar un número de borde precedente y una velocidad de avance normalizada para cada eje. Como se indica en la fig. 8, el número de borde anterior para cada eje se fija de preferencia igual a h y la velocidad de avance normalizada para cada eje se fija de preferencia igual a cero.

374496

- 27 -

12.2.70



Preparación

Los datos numéricos suministrados al sistema para cada corte en línea recta incluyen la magnitud de desplazamiento a efectuar para cada eje, y puede incluir una fracción de la velocidad de avance (f_R) si se desea que la herramienta no se mueva a su velocidad máxima de recorrido. El último elemento de datos a introducir para cada pieza de labor indica que se ha terminado la tarea. Esto puede hacerse, por ejemplo, indicando que la velocidad de avance ha de ser cero. Para cada corte rectilíneo, la distancia total de recorrido (D) se calcula de acuerdo con la ecuación (7). El tiempo (T) de ejecución del corte a la velocidad normal de la herramienta se obtiene entonces de acuerdo con la ecuación (9). El número de ciclos de la onda rectangular de referencia (R) necesario para terminar el ciclo se obtiene multiplicando la frecuencia de esta onda rectangular de referencia por el tiempo de ejecución del corte a la velocidad normal de la herramienta, y dividiendo por la fracción de la velocidad de avance. Como es preciso usar un número entero de ciclos de la onda rectangular de referencia, se redondea R a un valor entero. A continuación se genera un tiempo de ejecución de corte (T') corregido, dividiendo el entero R por la frecuencia de la onda rectangular de referencia. Todas las operaciones que tengan lugar después de esto son las mismas para cada eje de la máquina herramienta. En la fig. 8 se ilustran los detalles de la metodología, solamente para el eje X. La nueva velocidad de avance normalizada para este corte se genera con arreglo a la ecuación (12), y el primer número de borde se genera entonces de acuerdo con

374496



la ecuación (5), teniendo en cuenta la velocidad de avance normalizada anterior para el eje X, y el número de borde de X anterior. La velocidad de avance normalizada recién generada se traslada luego al registro o unidad de
5 almacenaje, que conservaba la velocidad de avance precedente. Esto permite utilizar la velocidad de avance normalizada para este corte como velocidad de avance normalizada precedente cuando se hace el siguiente corte. La
preparación se completa entonces generando, con arreglo
10 a la ecuación (1), la distancia de separación E_{X1} entre bordes consecutivos a partir del primer borde.

Generación de datos de borde

Durante el tiempo en que el registro de posiciones de eje X no está señalando petición de un nuevo número de borde, el generador de datos de borde queda libre
15 para efectuar el tratamiento relacionado con los ejes Y y Z. Si no se están recibiendo peticiones de ninguno de los registros de posiciones de eje, el generador de datos de borde queda libre para efectuar un tratamiento no asociado directamente al funcionamiento de la máquina herramienta. Este tratamiento múltiple puede coordinarse de acuerdo con métodos ya conocidos de interrupción y "robo" de
20 ciclos. Cuando el registro de posiciones de eje X pida un número de borde nuevo, el número de borde generado más recientemente se trasladará a aquél, generándose el siguiente número de borde por adición de E_{X1} al último número de
25 borde. El desbordamiento aritmético obtenido de la generación de número de borde se comparará con R, para determinar si se ha terminado o no el corte rectilíneo. De no
30 haberse terminado el corte, el número de borde recién ge-

374496

17 FEB 1970



nerado se colocará en el registro que contiene el número de borde anterior, hasta la recepción de una petición sucesiva procedente del registro de posiciones de eje X. De haberse terminado el corte rectilíneo, el sistema volverá a comenzar el proceso de preparación, introduciendo por lectura el siguiente bloque de datos.

Otra manera de detectar el final de un corte rectilíneo consiste en reducir el valor almacenado de R cada vez que el contador de referencia vuelve a un nivel de recuento de todos ceros (000). El recuento de todos ceros tendrá lugar al final de cada período de la onda rectangular de referencia. Cuando R se haya reducido por decrementos a cero, se habrá terminado el corte rectilíneo.

Finalización

Detectado el último registro de datos relativos al corte de una pieza de labor dada, es preciso hacer una corrección final en el último valor de borde generado para cada eje. Esta corrección corresponde a la generación de números de borde para un corte siguiente que tenga una velocidad de avance cero para cada eje. Como se indica en la fig. 8, el último registro puede identificarse, por ejemplo, denotando su fracción de velocidad de avance como igual a cero. En este caso, la nueva velocidad de avance normalizada N'_i se hace igual a cero, y la ecuación (5) puede simplificarse hasta recibir la forma indicada en el recuadro superior del lado derecho de la fig. 8. Después de generado el número final de borde para cada eje, cada número de borde se colocará en el registro adecuado de posiciones de eje cuando se reciba de él una petición. Se

374496



habrá terminado entonces el corte de la pieza de labor.

Para las personas versadas en la materia resultará evidente que podría realizarse físicamente un sistema de máquina herramienta conforme al presente invento, dentro de una gran variedad de maneras. Ahora bien, con arreglo a una de las formas preferidas de realización de este invento, es conveniente realizar físicamente la invención de manera tal que con un equipo físico de usos especiales se efectúan operaciones de frecuencia relativamente alta, y las operaciones de frecuencia relativamente baja se ejecutan en una calculadora numérica de control, de uso general. Esta realización física se describirá más adelante, al hablar de cada uno de los tres subsistemas de la fig. 7.

5

10

15

Generador de números de borde

Como antes se dijo con referencia a la fig. 6, la generación de números de borde comprende operaciones de relativamente baja velocidad (de iniciación y preparación), y operaciones de velocidad relativamente alta (adición iterativa y comparación). En la realización física del invento será conveniente en general efectuar las operaciones de baja velocidad en la unidad central de tratamiento (CPU) de una calculadora numérica de uso general, y efectuar las operaciones de gran velocidad con un equipo físico de usos especiales.

20

25

La fig. 9 ilustra, en forma de esquema funcional o por bloques, el equipo físico que se necesita. Comprende una pequeña memoria reguladora 29, un registro de acceso (AR) 30 asociado a ella, un registro 31 de regulador de memoria (MBR) para transferir datos a y desde la memoria,

30

374496



un registro de almacenaje (SR) 32, un sumador 33 para generar números de borde sucesivos mientras se está haciendo un corte rectilíneo dado, y un comparador 34.

5 Para cada pieza de labor a mecanizar, los cálculos asociados a la iniciación serán efectuados por la CPU (no representada) de manera ya conocida. Asimismo, serán efectuados igualmente por la CPU los cálculos asociados a la preparación de cada corte rectilíneo. Por cada corte rectilíneo a efectuar con la máquina herramienta que se está controlando, la CPU suministrará al equipo físico de usos especiales ilustrado en la fig. 9 los parámetros siguientes: R (número de ciclos de referencia para el corte rectilíneo); E_{il} (distancia de separación entre bordes consecutivos a partir del primero de ellos); y E_{in} (el primer número de borde). Estos datos serán almacenados en el regulador-separador 29, en una área asociada a la máquina herramienta a la cual pertenecen. Cada vez que un registro de posiciones de eje requiera un nuevo número de borde, se recibirá, procedente del sistema de control de ciclos (fig. 11), una dirección de acceso, que se colocará en el AR 30. Esto hará que se lean pasando al MBR 31 la distancia de separación apropiada (E_{il}) y el valor apropiado de R, desde donde serán trasladados al SR 32. El valor E_{in} de borde en un momento dado (incluidas la porción de desbordamiento, la parte entera y la parte fraccionaria) será pasado luego por lectura al MBR 31. La parte significativa (entera) de E_{in} se trasladará por medio de la línea 35 al registro de posiciones de eje apropiado (fig. 10). En el sumador 33 se sumará luego E_{il} a E_{in} , colocándose la suma de nuevo en la memoria reguladora

374496



17 FEB 1970

29 por medio del MBR 31, en la posición que antes ocupaba
E_{in}. El valor de R contenido en SR 32 se comparará a la
porción de desbordamiento del valor de borde E_{in} recién
generado, efectuándose dicha comparación 34, para deter-
5 minar si se ha generado el número de borde final para es-
te eje. De ser así, la CPU enviará una señal por la lí-
nea 36. Una vez generado el número de borde final para
cada eje de la máquina herramienta, la CPU suministrará
un nuevo juego de parámetros al regulador-separador de
10 memoria 29, por la barra de entrada 37. En esta forma de
realización preferida, no es necesario transmitir a la
CPU el número final de borde generado, para su uso en el
cálculo del primer número de borde del corte rectilíneo
inmediato sucesivo, por suponerse que la CPU habrá gene-
15 rado previamente el último número de borde, de la manera
determinada con arreglo a las ecuaciones (17) y (18) como
más arriba se ha descrito.

Subsistema analógico de fase.

La fig. 10 muestra la representación lógica del
20 subsistema analógico de fase. Este subsistema está prin-
cipalmente compuesto de la circuitería compartida del con-
tador de referencia, que comprende un oscilador de refe-
rencia 38 de oscilación continua y un contador de referen-
cia 39, y un registro 40 de posiciones de eje, un circui-
25 to comparador 41 y un circuito de báscula binario de sali-
da 42 para cada eje de movimiento bajo control. Pueden
controlarse N ejes simultáneos, asignándose subgrupos a
cada máquina herramienta.

Los nuevos números de borde se colocan en los
30 registros de posición de eje 40, por medio de la barra

374496



177

5 omnibus de datos de entrada 35 que tiene su origen en el subsistema generador de datos de borde (fig. 9). Siempre que uno de los circuitos comparadores 41 dé una señal que hace cambiar de nivel a un circuito de báscula binario 42; dicha señal se transmite también al sistema de control de ciclos (fig. 11) por medio de una de las líneas 43, para poner en iniciación el mecanismo requerido y hacer que se suministre un nuevo número de borde el registro de posiciones.

10 Otra manera de realizar físicamente el subsistema analógico de fase sería la de compartir un solo registro y comparador de posiciones de eje. Cada valor para cada eje se almacenaría en el regulador-separador 29 (fig. 9). A continuación, con cada avance del contador de referencia, se sacarían de la memoria reguladora los valores de registro de posiciones de eje, uno a uno, y se compararían con el contador de referencia 39. Al resultar de ello condiciones positivas de comparación, o de igualdad, se actualizaría el circuito de báscula 42 apropiado, del modo descrito más arriba.

Subsistema de control de ciclos

15 El subsistema de control de ciclos de la fig. 11 contiene un oscilador de avance 44, de oscilación libre o continua, que alimenta un contador 45 de acceso de ejes (AAC) por medio de una barrera 46. El AAC alimenta un descodificador 47 dotado de una pluralidad de salidas, cada una de las cuales llevará señal cuando el AAC 45 haga referencia al acceso de datos de regulador-separador para un eje de máquina herramienta asociado a la salida particular del descodificador. Cada una de las salidas de des-

374496



codificador alimenta un circuito de coincidencia 48 asociado a uno de dichos ejes de movimiento. Asimismo, y suministrando una entrada a cada uno de los circuitos de coincidencia 48, hay un circuito de báscula 49 que recibe su entrada de activación por medio de una línea de petición 43 que viene del subsistema analógico de fase (fig. 10) La salida de cada uno de los circuitos de coincidencia 48 alimenta una de las entradas de un circuito disyuntivo 50, cuya salida se usa para poner en acción un regulador de tiempos 51 de control de ciclo (CCT) y, después de ser invertida por el inversor 52, para inhibir la barrera 46 impidiendo que se altere el contenido del AAC 45.

El subsistema de control de ciclos opera a base de interrogación continua, en búsqueda de la siguiente aparición de una petición procedente de un registro de posiciones de eje. Siempre que aparezca una petición, la señal presente en la línea 43 pondrá en acción (hará conducir) a uno de los circuitos de báscula 49. El AAC 45 continúa un avance ordenado, producido por el oscilador de avance 44, hasta que la concordancia del descodificador de acceso 47 con un circuito de báscula 49 correspondiente active uno de los circuitos de coincidencia 48. La salida del circuito disyuntivo 50 señala la puesta en marcha del regulador de tiempos 51 de control de ciclo (CCT), y al propio tiempo la señal procedente del inversor 52 deja inhábil la barrera 46, inhibiéndolo así todo avance sucesivo del AAC 45 y conservando la dirección de acceso del eje.

Las diversas salidas del regulador de tiempos 51 de control de ciclo se usan de manera ya conocida para

374496



5 activar las barreras adecuadas a fin de suministrar al
subsistema generador la dirección de acceso del registro
de posiciones de eje que pida servicio, y trasladar el si-
guiente número de borde desde el subsistema generador de
datos de borde al registro adecuado de posiciones de eje.
10 Al terminar la secuencia del CCT, la salida de "continua-
ción" del CCT actuará a través de uno de los circuitos de
coincidencia 53, desactivando el circuito de báscula 49 de
petición. Esto hace que se active o condicione la barre-
ra 46, continuando así la búsqueda de la siguiente condi-
ción de petición.

Control de la velocidad de avance.

15 La fig. 12 ilustra, en forma de esquema funcio-
nal, el equipo físico que puede añadirse al sistema para
obtener un control adicional de la velocidad de traslación
de la bancada de la máquina herramienta. En la fig. 12
hay un atenuador 54 de velocidad de avance intercalado
entre el oscilador continuo 55 y el contador de referen-
cia 56. El atenuador 54 de velocidad de avance, bajo el
20 control de los datos contenidos en el registro 57 de frac-
ciones de la velocidad de avance, actua permitiendo que una
fracción de los impulsos del oscilador pase al contador de
referencia. Esto tiene por efecto el de hacer variar la
frecuencia de la señal de referencia, y las señales de
25 mando de posición correspondiente, en proporción con la
fracción de la velocidad de avance. Por ejemplo, una frac-
ción de velocidad de avance de 0,5 dividirá por dos la fre-
cuencia de las ondas rectangulares recibidas por el control
de referencia 56. Esto daría por resultado la necesidad
30 de doble tiempo para la resolución de servo por la máquina

374496



herramienta, de cada desplazamiento de fase, atenuándose así la velocidad de la herramienta en una magnitud igual a la fracción de la velocidad de avance. Como este aparato exigiría ciertas características de paso de banda de frecuencias para los componentes inductivos del bucle de servo, solo se podría usar una pequeña gama de frecuencias con este aparato sin necesitar modificaciones en cuanto a la mayoría de los servocontroles de uso común hoy en día.

Otra forma de realización física de controles para efectuar el mando de la velocidad de avance, y permitir una amplia gama de posibilidades de predominio del mando manual es la ilustrada en la fig. 13. Este aparato incluye un conmutador 58 conectado a una fuente de suministro de energía eléctrica 59, que puede ser conectada a la línea de "activación" de cualquiera de los circuitos de báscula 60 a 64. La salida de cada circuito de báscula va conectada al generador de datos de borde (o a la CPU, si se usa una CPU para efectuar las operaciones de preparación). La salida de cada uno de los circuitos de báscula va también conectada a un circuito disyuntivo exclusivo 65. La salida del disyuntivo exclusivo 65 alimenta a un inversor 66, cuya salida se usa para suministrar a la CPU una señal de interrupción.

Cuando el conmutador esté puesto en automático, las fracciones de velocidad de avance vendrán determinadas con arreglo a los datos de entrada suministrados al sistema. Cuando el conmutador esté puesto en cualquiera de sus demás posiciones de ajuste, este ajuste controlará la fracción de velocidad de avance. Si en cualquier momento se modifica la posición de ajuste del conmutador 58, habrá

374496



5 un período durante el cual estén dos de los circuitos de
báscula en su condición de activados simultáneamente. Es-
to hará que caiga la salida del disyuntivo exclusivo 65,
haciendo que la salida del inversor 66 envíe una señal de
interrupción a la CPU. La CPU determinará la nueva frac-
ción de velocidad de avance, enviando primero un impulso
de reposición a todos y cada uno de los circuitos de bás-
cula de la línea 67, para reponerlos todos menos el corres-
pondiente a la nueva fracción de velocidad de avance. La
10 señal que indique el valor de la nueva fracción de veloci-
dad de avance será recibida por la CPU por una de las lí-
neas 68.

Ejemplos numéricos

15 Para poner de manifiesto y aclarar aún más la
metodología de esta invención, se presentarán ahora dos
ejemplos numéricos. Los números indicados en los ejemplos
son sólo aproximados, desarrollados mediante cálculos ma-
nuales para presentar e ilustrar la invención, y pueden
no ser totalmente exactos en las porciones fraccionarias
20 cuando la exactitud precisa no resulte necesaria para es-
ta ilustración.

Ejemplo 1 .- Orden de copiar contorno

25 El ejemplo numérico que sigue pone de manifies-
to la lógica para un control de posición ordinario. Para
mayor sencillez, se supone una máquina copiadora en dos
ejes geométricos.

Supóngase que el nuevo vector de corte dado es:

$$X = + 400 \text{ unidades}$$

$$Y = - 300 \text{ unidades}$$

30 La ecuación (7) da la distancia de recorrido,

374496



$$D = \sqrt{(400)^2 + (300)^2} = 500 \quad (7)$$

Supóngase ahora una velocidad tangencial máxima ($V_m = 2,54 \text{ cm/s}$) y una precisión ($P = 2,54 \text{ micras}$); mediante la ecuación (8),

$$5 \quad \psi_t = 2,54/0,000254 = 10.000, \quad (8)$$

y por la ecuación (9) el tiempo de corte es:

$$T = 500/10000 = 0,05 \quad (9)$$

La ecuación (10) da el número de ciclos de referencia R así:

$$10 \quad R = 250 \cdot (0,05) = 12,5 \quad (10)$$

Eligiendo el entero $R = 12$,

$$T' = 12/250 = 0,048 \quad (11)$$

y

$$N_x = 400/0,048 = 8333,3 \quad (12)$$

$$15 \quad N_y = -300/0,048 = -6250,0 \quad (12)$$

Asimismo, suponiendo que la fracción de la velocidad de avance vaya a ser (0,5) para este vector de corte, se tiene:

$$N_x = (0,5) \cdot (8333,3) = 4166,6 \quad (15)$$

$$20 \quad N_y = -(0,5) \cdot (6250) = -3125,0 \quad (15)$$

$$R = 12/0,5 = 24. \quad (13)$$

Usando la ecuación (1), las distancias de separación incremental de bordes son:

$$25 \quad E_{x1} = 500 \left(\frac{250}{250 - 4,1666} \right) = 508,474 \quad (1)$$

$$E_{y1} = 500 \left(\frac{250}{250 + 3,1250} \right) = 493,827 \quad (1)$$

30

374496



Para mayor sencillez, supóngase que las señales de mando de eje y la señal de referencia están inicialmente en fase. La tabla siguiente da entonces los valores de los bordes consecutivos generados para cada eje:

Borde nº	EJE X		EJE Y			
1		508	474	493	827	
2	1	016	948	0	987	654
3	1	525	422	1	481	481
4	2	033	896	1	975	308
5	2	542	370	2	469	135
.						
9	4	576	266	4	444	443
10	5	084	740	4	938	270
11				5	432	097
.						
20	10	169	480	9	876	540
.						
25	12	711	850	12	345	675
.						
30	15	254	220	14	814	810
.						
35	17	796	590	17	283	945
.						
40	20	338	960	19	753	080
.						
46	23	389	804	22	716	042
47	23	898	278	23	209	869
48	24	406	752	23	703	696
49				24	197	523

374496



La parte entera de los valores contenidos en las columnas de la tabla definidas con doble línea se suministran a los registros de posiciones de eje, a fin de decudir las ondas rectangulares de posición deseada, de la fig. 2.

Para demostrar que se alcanza adecuadamente el destino final, supóngase que el siguiente vector de corte es cero. Se tiene entonces la situación indicada en la fig. 6. Se generaron 48 números de borde de X al llegar el desbordamiento a 24 (R) y generarse 49 números de borde de Y. Así, el borde designado $E_{i(n+1)}$ en la fig. 6 correspondiente al E_{x48} ó al E_{y49} de este ejemplo, siendo

$$E_{x(48)} = 406,572$$

$$E_{y(49)} = 197,523$$

Ahora bien, como T_0 representa el final matemático del corte ($R = 0$), es preciso ajustar los valores finales de borde de ambos ejes a la variación de velocidad en T_0 ; por lo tanto, usando la ecuación (5):

$$E'_{x(48)} = 406,572 \left[1 + \frac{-4,1666}{250} \right] = 399,98 \quad (5)$$

(= 400 por redondeo),

y

$$E'_{y(49)} = 197,523 \left[1 + \frac{+ 3,125}{250} \right] = 199,99 \quad (5)$$

(= 200 por redondeo).

En la práctica, los valores de borde $E'_{x(48)}$ y $E'_{y(49)}$ se habrían calculado anticipadamente, antes del final de corte, y colocado inicialmente en la tabla. El

374496



problema propuesto se ha resuelto, pues, haciendo avanzar uniformemente el eje X en +400 unidades, y retrasando el eje Y en $200-500 = -300$ unidades, a la mitad de la velocidad máxima total.

5 Ejemplo 2.- Variación no planeada de la velocidad de avance

Supóngase que se quiere instituir un cambio no planeado de la velocidad de avance en un vector de corte. Para este ejemplo se elegirá arbitrariamente un instante en el tiempo ($R=19$) tomado del ejemplo anterior, como momento en el que ha de empezar la nueva velocidad de avance. Supóngase asimismo que la velocidad deseada después de la atenuación va a ser aproximadamente de nueve décimos de la velocidad presente. Entonces, en lugar de quedar 15 19 ciclos de referencia hasta la terminación del corte, habrá:

$$R' = \frac{19}{0,9} = 22 \quad (13)$$

y

$$f'_r = \frac{19}{22} = 0,86364, \quad (14)$$

20

y las componentes de velocidad revisadas en fase son:

$$N'_x = 4166,6 (0,86364) = 3598,5 \quad (15)$$

$$N'_y = -3125 (0,86364) = -2698,9 \quad (15)$$

por la ecuación (1), los valores de separación de bordes son:

25

$$E'_{x1} = 500 \left(\frac{250}{250-3,5985} \right) = 507,295 \quad (1)$$

$$E'_{y1} = 500 \left(\frac{250}{250+2,6989} \right) = 494,660 \quad (1)$$

30

y los ajustes a los bordes iniciales son:

374496



$$E'_{x(n+1)} = E'_{x(10)} = 084,742 \left[1 + \left(\frac{-4,1666}{250} \right) \right] / \left[1 + \left(\frac{-3,5985}{250} \right) \right] =$$

$$= 084,575 \quad (5)$$

$$5 \quad E'_{y(n+1)} = E'_{y(11)} = 432,097 \left[1 + \left(\frac{3,1250}{250} \right) \right] / \left[1 + \left(\frac{2,6989}{250} \right) \right] =$$

$$= 432,974 \quad (5)$$

10 Basandose en el nuevo juego de valores de borde inicial ($E'_{i(n+1)}$) y de separación de bordes (E'_{i1}) debido a la velocidad de avance revisada, la tabla que sigue da los cambios o variaciones en los valores de borde de la tabla precedente:

15

374496



	Borde Nº	EJE X		EJE Y			
	1		508	474	493	827	
	
5	.	.	.	.	.	.
	
	8		.	.	.	.
	9	4	576	266	4	444	443
	10	5	084	575	4	938	270
10	11	5	591	970	5	432	974
	12	6	099	165	5	927	634

15	.	.	.	.	.	.	.

	53	26	898	260	.	.	.
	54	27	405	555	26	703	354
	55				27	136	014
20							

Volviendo a suponer que el vector siguiente de corte sea cero, los valores de borde finales son:

25

$$E'_{x(54)} = 405,555 \left[1 - \frac{3,5985}{250} \right] = 399,72 = 400 \text{ (por redondeo)} \quad (5)$$

$$E'_{y(55)} = 198,014 \left[1 + \frac{2,6989}{250} \right] = 200,08 = 200 \text{ (por redondeo)} \quad (5)$$

como en el ejemplo anterior.

30

374496

07 FEB



5 La línea horizontal de esta tabla separa los valores de ella que preceden y siguen a la variación de la velocidad de avance. Nótese que la realización física del cambio de velocidad empieza con el primer borde cada señal de posición de eje que sigue al momento en que la señal de referencia vuelve a cero (R ciclos, número entero). En este ejemplo, los bordes apropiados son $E_{x(10)}$ y $E_{y(11)}$, como se indica en la tabla.

10 El momento óptimo para iniciar un cambio de velocidad de avance no planeado es en cierto modo arbitrario, y depende de la realización física específica de cada caso. En general, puede elegirse un tiempo o instante conveniente, tras la petición, a fin de mitigar las demandas instantáneas de tratamiento que pesen sobre el sistema, sin dejar de observar los requisitos de respuesta del operador. Por ejemplo, si se necesita una respuesta de un segundo, el cambio se introduciría entonces en la corriente de datos antes del quingentésimo (500º) borde futuro, ya que los bordes se hallan separados entre sí por unos 2 milisegundos de tiempo (para una señal de referencia de 250 Hz).

15 Los números indicados en las dos tablas de los ejemplos precedentes han sido "redondeados" hasta cierto punto, porque la porción fraccionaria ha sido limitada a tres lugares decimales. A pesar de ello, el error final según cada eje de movimiento es menor de tres décimas de unidad, en el peor de los casos indicados, y menor de una décima parte de unidad en tres de los cuatro casos indicados. Estos errores de redondeo están, desde luego, dentro de los límites de tolerancia comúnmente aceptados.

17 FEB



Naturalmente, aun este pequeño error puede reducirse con facilidad generando los números de borde con mayor número de lugares fraccionarios.

Servosistemas numéricos de retroacción

5 La metodología fundamental presentada para la
generación de la información de onda rectangular de mando
de posición da por supuesto que se usa un transductor ana-
lógico detector de posición (por ejemplo, un transformador
de coordenadas lineal o rotatorio) para deducir la posición
10 real y efectiva de la máquina herramienta en un momento
dado. Tras un nuevo perfilado o reconformación, esta señal
de retroacción se lleva, en unión de la señal de posición
deseada (mando de posición), a un mecanismo discriminador
de fase, a fin de derivar o deducir la "señal de error"
15 que sirve de entrada a los servoamplificadores. Ahora
bien, si en cambio se usa un transductor numérico para de-
tectar la posición efectiva de la máquina herramienta y
llevarla en retroacción al discriminador de fase, se nece-
sita hacer una pequeña modificación en la disposición de
20 equipo físico de la fig. 2. Los números dígitos colocados
en los registros de mando de posición (valores de borde)
equivalen a la representación numérica de la posición desea-
da de los ejes de la máquina herramienta, a través del
tiempo. Podría efectuarse directamente la comparación numé-
25 rica de cada valor de mando de posición contenido en el
registro con el correspondiente valor de posición efectiva
obtenido del transductor de realimentación o retroacción,
lográndose de ese modo la discriminación de fase. En tales
sistemas numéricos de retroacción, pues, se suministra
30 luego a los amplificadores del servomando una tensión ana-

374496

07 FEB



lógica proporcional al valor de desigualdad de la comparación, siendo la tensión nula cuando la comparación dé una igualdad. El sistema numérico de retroacción, por consiguiente, elimina la necesidad de convertir datos de mando de posición en datos de onda rectangular para la discriminación de fases, pero exige la sustitución de la lógica de comparación que en ello interviene.

En la fig. 14 se ilustra un sistema de máquina herramienta en el que se usan servos de retroacción numérica. El generador de posición 69 recibe datos de movimiento de los ejes para cada corte en línea recta, de manera similar a la antes descrita para el generador de datos de borde. El generador de posición genera información de mando de posición, o posición deseada, y la coloca en los instantes apropiados en unos registros de mando de posición 70, 71 y 72, de X, Y y Z, respectivamente. Otros registros 73, 74 y 75, éstos de posición efectiva de X, Y y Z, contienen cada uno una representación numérica de su eje asociado. La salida de cada registro de mando de posición y de cada registro de posición efectiva se lleva al conjunto de los servocontroles y máquina herramienta (76) representado dentro del recuadro de trazo interrumpido. Los servocontroles comprenderán en general, por cada eje: un restador 77 para determinar la diferencia entre el contenido de los registros de mando de posición y el de los registros de posición efectiva; un convertidor 78 de numérico en analógico, para convertir la salida del restador en una señal analógica relacionada con la diferencia; un amplificador 79 para amplificar la señal analógica; un servomando 80 que reciba la señal amplificada; y



una fuente de alimentación de energía 81 que responda al servomando produciendo el movimiento de los ejes geométricos apropiados de la máquina herramienta 82. Asimismo, incluye en el sistema un transductor (83, 84 y 85 para los ejes X, Y y Z, respectivamente) que detecte la posición efectiva de cada eje de la máquina herramienta y la lleve a los registros 73, 74, 75 de posición efectiva.

En la generación de números de posición para cada eje, el número total R de ciclos de reloj de referencia viene determinado por el generador de posición 69 con arreglo a la ecuaciones (7), (8), (9) y (10), y se ajusta para cualquier fracción dada de velocidad de avance. Suponiendo que se suministre un número de nueva posición dos veces durante cada ciclo de referencia, R se duplica, y el número 2R (expresado como número entero) se divide por el número de unidades de movimiento deseadas para cada eje, para obtener el movimiento deseado durante cada semiperíodo, o medio ciclo. El número así generado para cada eje es el de la primera posición deseada o de mando para dicho eje. Al dar comienzo el primer corte en línea recta, cada número de primera posición deseada se colocará en el registro de mando de posición apropiado. Un semiperíodo más tarde, se pondrá en cada registro de mando de posición el doble de ese número. Tras cada semiperíodo sucesivo, hasta terminarse el corte, el contenido de cada registro de mando de posición será sustituido por un número que excede del contenido anterior en una cantidad igual al número de la primera posición deseada. Para cada corte rectilíneo sucesivo, el generador de posición dará una nueva primera posición deseada para cada eje, que se irá

374496



sumando o restando repetitivamente del valor precedente en cada registro de mando de posición, colocandose el resultado en el registro de mando de posición apropiado.

5 La regulación de tiempos fundamental para este sistema viene suministrada por un "reloj" 86, el cual puede comprender un oscilador 87 que trabaje al doble de la frecuencia de referencia, y alimente a un circuito de báscula binario 88. Las salidas de "cero" y de "uno" de este circuito de báscula se usan para señalar o indicar al generador de posición, dos veces durante cada ciclo de referencia, que cada registro de mando de posición 70 - 72 necesita una nueva posición de mando o deseada. La salida de "cero" de circuito de báscula 88 se utiliza para indicar al generador de posición 69 el hecho de haberse
10 terminado un ciclo de referencia. En una forma preferida de ejecución de este invento, cada vez que se termine un ciclo de referencia se reducirá o disminuirá en 1 el valor almacenado de R. Al llegar R a 0, se habrá terminado el corte rectilíneo.

20 Ejemplo 3.- Orden de copiar contorno

En una máquina copiadora en dos ejes, supóngase que el nuevo vector de corte dado sea:

$$X = + 400 \text{ unidades}$$

$$Y = - 300 \text{ unidades ;}$$

25 y que el valor de R determinado sea:

$$R = 19,3 .$$

Redondeando R al entero inmediato superior se tiene:

$$R (\text{entero}) = 20$$

30 Supóngase asimismo que al terminarse el corte rectilíneo anterior, el registro de mando de posición de X contenía

374496

37F



el valor 864, y el registro de mando de posición de Y contenía el valor 1216. Por ser $2R = 40$, el número de primera posición de mando para cada eje es:

$$E_{1x} = 400/40 = 10,00$$

$$E_{1y} = -300/40 = -7,50$$

La siguiente tabla indica el valor de los números consecutivos de mando de posición generados para cada eje.

	Nº de posición	X	Y
10	1	874,00	1208,50
	2	884,00	1201,00
	3	894,00	1193,50
	4	904,00	1186,00
	5	914,00	1178,50
15	.		
	.		
	.		
18	18	1044,00	1081,00
	19	1054,00	1073,50
	.		
20	.		
	.		
	.		
30	30	1164,00	991,00
	31	1174,00	983,50
	.		
25	.		
	.		
	.		
38	38	1244,00	931,00
	39	1254,00	923,50
	40	1264,00	916,00

374496



Después de generados cuarenta números de posición de rando, R se habrá reducido a cero, indicando el final del corte rectilíneo, y el eje X de la máquina herramienta se habrá movido 400 unidades en sentido positivo, mientras el eje Y se habrá movido 300 unidades en sentido negativo.

Previsión de acciones

El problema de la previsión de acciones surge siempre que se desea elegir un período futuro conveniente durante el cual se instituya un cambio de velocidad de avance imprevisto, o bien cuando se quiera generar por adelantado el número de valores de borde necesario para cada eje, a fin de ejecutar un corte deseado.

El desplazamiento de la iniciación del cambio de velocidad de avance, dejándolo para un instante futuro, permitirá tener tiempo bastante para determinar las variaciones a introducir en la corriente o serie de "datos de borde", sin interrumpir la continuidad de la circulación de éstos. Este intervalo de previsión de acciones, no obstante, debe ser lo bastante breve para efectuar el cambio de velocidad de avance dentro de un tiempo de respuesta aceptable para el operador. Por ejemplo, como intervalo de previsión de acciones puede seleccionarse el de 100 milisegundos (1/10 segundos), asegurándose con ello unos tiempos de respuesta que están dentro del normal de reacción humana.

Como cada eje tiene una corriente de datos por separado, el problema a resolver en la previsión de acciones es el de hallar el juego de datos de borde correspondiente, $E_{i(n+1)}$, de manera que pueda aplicarse la ecuación

077



(5) para la nueva velocidad de avance, para cada eje (i).

Supónganse las definiciones siguientes:

- 5 T_1 = primer nuevo ciclo de la señal de referencia, tras una notificación de cambio de la velocidad de avance;
- $E_{i(m)}$ = último número de borde para el eje i , antes de T_1 ;
- 10 N = número de ciclos de previsión de acciones: por ejemplo, un intervalo de previsión de acciones de 100 ms (milisegundos) exige $N=25$ para una señal de referencia de 250 Hz;
- T_2 = momento de la institución del cambio de velocidad de avance;
- 15 $E_{i(n+1)}$ = primer número de borde de la señal de posición siguiente a T_2 , basado en la velocidad de avance antes de variar.

El problema es, pues, el de generar el número de borde $E_{i(n+1)}$.

La distancia total entre $E_{i(m)}$ y T_2 , medida en unidades de borde, es:

$$(M - E_{i(m)}) \quad (+M \cdot K) ,$$

donde la primera cantidad es la distancia a T_1 , y la segunda es la distancia entre T_1 y T_2 . M es la constante del contador de referencia (1000).

El número de bordes (B) de este espacio se determina sencillamente dividiendo por el valor de desplazamiento de bordes, E_{i1} , determinado por la ecuación (1); por consiguiente:

$$B_i = \frac{M(N+1) - E_{i(m)}}{E_{i1}}$$

374496



o bien

$$B_i = \frac{K - E_{i(m)}}{E_{i1}} \quad (16)$$

5 donde K = constante elegida para la herramienta. Como es el primer borde que se está buscando a continuación de T₂, la fracción de B se desecha, y se escoge el valor entero inmediato superior.

10 Si han generado previamente en una tabla los valores de borde consecutivos, pueden obtenerse los valores correctos para E_{i(n+1)} avanzando (B) unidades en la tabla. De otro modo, pueden generarse directamente por medio de la ecuación (17) que sigue:

$$E_{i(n+1)} = E_{i(m)} + B_i \cdot E_{i1} \quad (17)$$

15 Para generar el número de valores de borde necesarios para ejecutar un nuevo vector, independientemente de los cambios de velocidad, sirve una regla similar. Si se supone que E_{i(m+1)} es el primer valor de borde del nuevo vector de corte, se tiene:

$$B_i = \frac{R \cdot M - E_{i(m+1)}}{E_{i1}} \quad (18)$$

20 donde R vuelve a ser el número de ciclos de referencia dado por la ecuación (10). Se vuelve a desechar el valor fraccionario de (B), y se elige el valor entero inmediato superior para calcular E_{i(n+1)} en la ecuación (17).

25 Eje inactivo

30 Se define el período de eje inactivo como aquel en que no aparece fase posicional ni, por consiguiente, tiene lugar avance alguno de fase en la señal de onda rectangular de mando de posición para un determinado eje en particular. Esta condición puede ocurrir en las circunstan-

374496



5 cias que se indican a continuación: durante la ejecución
de una instrucción de copiar en la que uno o más ejes no
necesita desplazamiento incremental; dinámicamente, duran-
te una orden de copiar, cuando la señal de error exceda
de cierto límite (en este caso, todos los ejes activos se
ponen transitoriamente en el modo inactivo); durante el
período momentáneo de inactividad entre órdenes de movi-
miento; tras la preparación de un trabajo, pero antes de
empezarlo; y en otras situaciones similares. En estas
10 circunstancias, es necesario suministrar al bucle de ser-
vomando una onda continua de perfil rectangular de posi-
ción deseada, pero que mantenga una posición de fase cons-
tante respecto a la señal de referencia. El aparato arri-
ba descrito lo hace, pero también puede efectuarse conve-
nientemente como sigue (véase la fig. 2). Cada registro
15 de mando de posición alimenta a un circuito comparador,
para detectar el momento en que los dos registros contie-
nen valores iguales (que es cuando el eje está en el modo
no inactivo). Al terminar un vector de corte, y cuando
20 se va a instituir el "modo inactivo" para un eje particular,
podría activarse una "línea de condicionamiento de inacti-
vidad" conectada al circuito comparador, que tendría por
efecto el de desactivar el circuito de báscula del orden
más alto del registro de posición de eje en cuestión, des-
25 conectándolo del proceso comparativo. Con la estructura
simétrica de código utilizada para el registro de posición
de eje, el circuito comparador emitirá ahora dos salidas
por cada período de la onda rectangular de referencia.
Estas salidas se repetirán alternativamente en el último
30 valor de borde colocado en el registro de posición de eje

374496



y a un segundo valor de borde desplazado (h), o sea 500 unidades de fase, en el tiempo. Estas salidas generan en el circuito de báscula o disparador binario una onda continua de perfil rectangular, de mando de posición, con un desplazamiento de fase nulo mientras la línea de inactivo permanezca condicionada o habilitada. Además, la posición de fase estática de la onda de perfil rectangular del eje inactivo se halla en la posición instituída por la última orden de movimiento aplicada al eje.

10 Otras variantes de la invención

Como ya se ha dicho más arriba, será conveniente en general realizar físicamente ciertas partes del presente invento dentro de una calculadora de uso general, y otras en un equipo físico de usos especiales. Aún cuando la forma completa de realización física arriba descrita es una forma preferida del presente invento, las personas versadas en la materia reconocerán sin duda que una parte mayor (o incluso la totalidad) de la invención podría realizarse físicamente en un equipo de usos especiales distinto del aquí indicado. También reconocerán esas personas que ciertos aspectos de la invención (especialmente los indicados en la fig. 9) podrían realizarse físicamente en una calculadora de uso general, y no en la forma de equipo de usos especiales aquí indicada.

25 Otra variante útil de la invención implicaría el uso de un medio de almacenaje intermedio, tal como una memoria de disco o cinta magnética. Un medio como este podría usarse para almacenar los valores previamente generados de los parámetros que servirían de entrada al aparato ilustrado en la fig. 9. El disco o cinta podría enton-

12.2.70

374496

17 FEB



ces utilizarse muchas veces si se fuera a mecanizar una
sucesión de piezas idénticas, eliminandose de ese modo
la necesidad de regenerar tales parámetros. Asimismo, si
se emplea una calculadora de uso general para engendrar
5 estos parámetros, tal enfoque podría permitir una más con-
veniente programación del tiempo de máquina.

Otra variante sería la de generar previamente
unas tablas completas (tal como se ha indicado más arriba
bajo el epígrafe de "Ejemplos numéricos"). Estas tablas
10 podrían luego suministrar una entrada directa al aparato,
tal como se indica en la fig. 10. Asimismo, este enfoque
podría conducir a una programación más conveniente del ti-
po de máquina, y a un empleo más eficaz y productivo de la
máquina.

Si bien la invención se ha ilustrado y descrito
15 en particular con referencia a unas formas preferidas de
realización de la misma, se sobrentiende para los técnicos
en la materia que pueden hacerse en ella diversos cambios
de forma y de detalle sin por ello salirse del ámbito ni
20 apartarse del espíritu de la invención.

La presente solicitud que corresponde a la pre-
sentada en Estados Unidos de América, con fecha 30 de Di-
ciembre de 1.968, bajo el número 787.643, se acoge a los
beneficios del Artículo 51 del vigente Estatuto sobre Pro-
25 piedad Industrial.

374496



REIVINDICACIONES

5 Los puntos de invención, propia y nueva, que se
presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente
de Invención en España, por VEINTE años, son los si-
guientes:

10 1.- Un sistema de máquina herramienta controla-
da numéricamente, en el cual datos digitales de entrada
son convertidos en una señal de posición de mando de posi-
ción que tiene un desplazamiento de fase variable entre
ella misma y una señal de referencia para generar dicha
15 señal de mando de posición, que comprenden primeros medios
que tienen al menos una entrada y al menos una salida, re-
cibiendo dichos medios, en su entrada, dichos datos digi-
tales de entrada, generando dichos medios, en su salida,
una sucesión de señales digitales relacionada cada una
con un tiempo en el cual ha de cambiar el nivel de dicha
20 señal de mando de posición; medios de registro conectados
a la salida de dichos primeros medios, para almacenar tem-
poralmente cada señal en dicha sucesión de señales digita-
les; medios contadores de referencia; medios comparadores
que tienen una entrada conectada a dichos medios de regis-
tro y una entrada conectada a dichos medios contadores de re-
25 ferencia, para manifestar una señal de salida cuando el
contenido de dichos medios de registro iguala al conteni-
do de dichos medios contadores de referencia; y medios
conectados a la salida de dichos medios comparadores, pa-
ra cambiar el nivel de dicha señal de mando de posición
30 en respuesta a cada señal de salida de dichos medios de

374496



comparación.

2.- Un sistema de control de máquina herramienta, para generar una señal de mando de posición para cada eje de al menos una máquina herramienta de ejes múltiples que comprende: un manantial de señales que indican el recorrido deseado de cada eje de máquina herramienta para cada corte rectilíneo; medios generadores de números; medios que conectan dicho manantial a dichos medios generadores de números; respondiendo dichos medios generadores de números a señales suministradas por dicho manantial para generar representaciones de números que indican los tiempos de ascenso y descenso de cada señal de mando de posición; una pluralidad de medios de registro, asociados cada uno a un eje de dicha máquina herramienta; medios que conectan dichos medios generadores de números a cada uno de dichos medios de registro para transmitir a los medios de registro asociados a cada uno de dichos ejes aquellas de dichas representaciones de números que indican los tiempos de ascenso y descenso de la señal de mando de posición asociada a dicho primero de los citados ejes; medios contadores de referencia; medios comparadores asociados a cada uno de dichos medios de registro, recibiendo cada uno de dichos medios comparadores una primera entrada de sus medios de registro asociados y una segunda entrada de dichos medios contadores de referencia, produciendo cada uno de dichos medios comparadores una señal de salida cuando el contenido de sus medios de registro asociados iguala al contenido de dichos medios contadores de referencia; y medios asociados a cada uno de dichos medios comparadores, para cambiar el nivel de tensión de la primera de di-

17 FEB.



chas señales de mando de posición.

5 3.- El sistema según la reivindicación 2, en el cual las salidas de dichos medios comparadores están funcionalmente conectadas a dichos medios generadores de números; respondiendo dichos medios generadores de números a una señal de salida procedente de uno de dichos medios comparadores para suministrar una nueva de dichas representaciones de números a los medios de registro asociados a dicho primero de dichos medios comparadores citados.

10 4.- Un sistema para máquina herramienta controlada numéricamente, que comprende: al menos una máquina herramienta que tiene al menos un primer eje de movimiento; un manantial de datos de entrada que especifican el recorrido deseado de dicho primer eje para cada corte rectilíneo; un manantial de señales de regulación en tiempo, de referencia, periódicas; medios de generación de posiciones, funcionalmente conectados a dichos manantiales para recibir dichos datos de entrada y dicha señales de regulación en tiempo; incluyendo dichos medios generadores de posiciones medios para determinar, a partir de dichos datos de entrada, en número de períodos de referencia requerido para cada corte rectilíneo, la cantidad de movimiento requerida para dicho eje durante una porción dada de cada período de referencia, y una posición deseada para dicho eje durante cada porción de cada período de referencia; medios de posición deseada asociados a dicho eje y conectados funcionalmente a dichos medios generadores de posición para recibir de los mismos una señal que representa la posición deseada de dichos ejes; medios de percepción para recibir la posición de dicho eje; medios de posición

15

20

25

30

374496



5 real asociados a dicho eje y conectados funcionalmente a dichos medios de percepción para recibir de los mismos una señal que representa la posición real de dicho eje; medios de diferencia asociados a dicho eje y que reciben
10 entradas de dichos medios de posición deseada y dichos medios de posición real; generando dichos medios de diferencia una señal referida a la diferencia entre el contenido de dichos medios de posición real y dichos medios de posición deseada; y medios conectados entre dichos medios de diferencia y dicha máquina herramienta para mover dicho eje a una velocidad relacionada con la señal generada por dichos medios de diferencia.

15 5.- El sistema según la reivindicación 4, en el cual: dicha porción dada de cada período de referencia es igual a la mitad de cada período de referencia.

20 6.- El sistema según la reivindicación 4, que incluye además: medios para determinar que ha pasado dicho número de períodos de referencia requeridos para un corte rectilíneo; y medios que conectan dichos medios últimamente citados a dichos medios de generación de posición, para hacer que dichos medios generadores de posición suministren a dichos medios de posición deseada señales relacionadas con el siguiente corte rectilíneo.

25 7.- Un sistema para máquina herramienta controlada numéricamente, que comprende: al menos una máquina herramienta que tiene al menos un primer eje de movimiento; un manantial de datos de entrada que especifican el recorrido deseado de cada eje para cada corte rectilíneo; un manantial de señales de regulación en tiempo, de referencia periódicas; medios generadores de posiciones conec-
30

17 FEB



tados operativamente a dichos manantiales para recibir dichos datos de entrada y dichas señales de regulación en tiempo; incluyendo dichos medios generadores de posición medios para determinar, a partir de dichos datos de entrada, el número de períodos de referencia referidos para cada corte rectilíneo, la cantidad de movimiento requerida para cada eje durante una porción dada de cada período de referencia y una posición deseada para cada eje durante cada porción de cada período de referencia; una pluralidad de medios de posición deseada, asociados cada uno con un eje y conectados funcionalmente a dichos medios generadores de posición para recibir de los mismos una señal que representa la posición deseada de su eje asociado; medios de percepción para percibir la posición de cada eje; una pluralidad de medios de posición real, asociados cada uno con un eje y conectados funcionalmente a dichos medios de percepción para recibir de los mismos una señal que representa la posición real del eje asociado; una pluralidad de medios de diferencia, asociados cada uno a un eje y que reciben entradas de los medios de posición deseada y de los medios de posición real asociados con dicho eje; generando cada uno de dichos medios de diferencia una señal relacionada con la diferencia entre el contenido de los medios de posición real y los medios de posición deseada asociados a su eje asociado; medios conectados entre dichos medios de diferencia y dicha máquina herramienta para mover dicho eje asociado a una velocidad relacionada con la señal generada por los medios de diferencia; medios para determinar que ha pasado dicho número de períodos de referencia requerido para un

12.2.70

- 61 - 374496

17 FEB



5 corte rectilíneo; y medios que conectan dichos medios últimamente citados a dichos medios generadores de posición, para hacer que dichos medios generadores de posición suministren a dichos medios de posición deseada señales referentes al siguiente corte rectilíneo.

10 8.- Un sistema de control de máquina herramienta para generar una señal de mando de posición para un eje de una máquina herramienta, que comprende: un manantial de señales que indican la longitud deseada del recorrido de dicho eje para cada corte rectilíneo; medios generadores de números, medios que conectan dicho manantial a dichos medios generadores de números; respondiendo dichos medios generadores de números a las señales suministradas por dicho manantial, para generar representaciones de números
15 que indican los tiempos de ascenso y descenso de dichas señales de mando de posición; medios de registro asociados a dicho eje; medios que conectan dichos medios generadores de números a los medios de registro para transmitir a dichos medios de registro las citadas representaciones de números, que indican dichos tiempos de ascenso y
20 descenso de dicha señal de mando de posición; medios contadores de referencia; medios comparadores asociados a dichos medios de registro, recibiendo dichos medios comparadores una primera entrada de dichos medios de registro y una segunda entrada de dichos medios contadores de
25 referencia, produciendo dichos medios comparadores una señal de salida cuando el contenido de dichos medios de registro es igual al contenido de dichos medios contadores de referencia; y medios asociados a dichos medios comparadores para cambiar el nivel de dicha señal de mando de
30 posición.

374496

17 FEB



5 9.- Un sistema de control de máquina herramienta, para generar una señal de mando de posición para cada eje de una máquina herramienta de ejes múltiples, que comprende: un manantial de señales que indican que el recorrido deseado de cada eje de máquina herramienta para cada corte rectilíneo; medios generadores de números; medios que conectan dicho manantial a dichos medios generadores de números; respondiendo dichos medios generadores de números a las señales suministradas por dicho manantial, para generar representaciones de números que indican los tiempos de ascenso y descenso de cada señal de posición de instrucción; medios de registro; medios que conectan dichos medios generadores de números a dichos medios de registro para transmitir a dichos medios de registro aquellas de dichas representaciones de número que indican los tiempos de ascenso y descenso de la señal de mando de posición asociada con cada uno de dichos ejes; medios contadores de referencia; medios comparadores asociados a dichos medios de registro; recibiendo dichos medios comparadores una primera entrada de dichos medios de registro y una segunda entrada de dichos medios contadores de referencia, produciendo dichos medios comparadores una señal de salida cuando el contenido de dichos medios de registro es igual al contenido de dichos medios contadores de referencia; y medios asociados a dichos medios comparadores para cambiar el nivel de tensión de la primera de dichas señales de mando de posición.

10 10.- El sistema según la reivindicación 9, en el cual: la salida de dichos medios comparadores está funcionalmente conectada a dichos medios generadores de números

374496

17 FEB



meros; respondiendo dichos medios generadores de números a una señal de salida procedente de dichos medios comparadores, para suministrar una nueva de dichas representaciones de números a dichos medios de registro.

5 11.- Un sistema de máquina herramienta que comprende al menos una máquina herramienta que tiene al menos un primer eje de movimiento, y un manantial de señales que indican el recorrido deseado de dicho eje para cada corte rectilíneo; un sistema de control de máquina herramienta, 10 para generar una señal de mando de posición para dicho eje que comprende; medios generadores de números conectados a dicho manantial de señales para generar números que representan los tiempos de ascenso y descenso de dicha señal de mando de posición; medios de analogía de fase conectados a dichos medios generadores de números y que responden a dichos números para generar dicha señal de mando 15 de posición; y medios de control de ciclo conectados a dichos medios de analogía de fase y a dichos medios generadores de números para hacer que dichos medios generadores de números suministren uno nuevo de dichos números a los 20 citados medios de analogía de fase despues de cada ascenso y cada descenso de dicha señal de mando de posición.

 12.- El sistema según la reivindicación 11, en el cual dichos medios de analogía de fase comprenden: medios 25 contadores de referencia; medios de registro para almacenar cada uno de dichos números; medios comparadores funcionalmente conectados a dichos medios contadores de referencia y a dichos medios de registro, para producir una señal de salida cuando el contenido de dichos medios 30 contadores de referencia iguala al contenido de dichos me-

17 FEB



5 dios de registro; y medios de producción de señales biestables, funcionalmente conectados a dichos medios comparadores, generando dichos medios biestables dicha señal de mando de posición, cambiando su estado cada vez que dichos medios comparadores producen una señal de salida.

10 13.- El sistema según la reivindicación 12, en el cual dichos medios de control de ciclo comprenden: medios de indicación de eje que manifiestan una señal que identifica dicho eje; medios descodificadores conectados a dichos medios de indicación de eje, que responden a dicha señal de identificación para producir una señal descodificada, medios de dos estados que tienen un primer estado que produce una primera señal y un segundo estado que produce una segunda señal, estando dichos medios de dos
15 estados funcionalmente conectados a dichos medios comparadores, de manera que adopten dicho primer estado cuando dichos medios comparadores produzcan una señal de salida; medios de concurrencia conectados a dichos medios de dos estados y dichos medios descodificadores, que responden a la concurrencia de dicha primera señal y dicha señal descodificada para producir una señal de concurrencia, medios conectados a dichos medios de concurrencia, que responden a dicha señal de concurrencia para impedir un cambio en la señal manifestada por dichos medios de indicación de
20 eje; medios de regulación en tiempo conectados a dichos medios de concurrencia, que responden a dicha señal de concurrencia para generar señales de regulación en tiempo, para hacer que dichos medios generadores de números suministren uno nuevo de dichos números a dichos medios de registro; y medios conectados a dichos medios de regulación
25 30

374496

17 FEB



en tiempo que responden a la conclusión de la generación de dichas señales de regulación en tiempo para hacer que dichos medios de dos estados adopten dicho segundo estado.

5 14.- El sistema según la reivindicación 13, en el cual dichos medios generadores de números comprenden medios para generar un primer número que representa el primer tiempo en el cual dicha señal de mando de posición ha de cambiar; y un segundo número que representa el incremento de tiempo entre cambios sucesivos de dicha señal de mando de posición; medios de almacenamiento para almacenar dicho primer número y dicho segundo número; medios de registro de almacenamiento, conectados a dichos medios de almacenamiento; medios de dirección, funcionalmente conectados a dichos medios de indicación de eje, para hacer que el contenido de dichos medios de almacenamiento sea desplazado a dichos medios de registro de almacenamiento; medios de transmisión conectados entre dichos medios de registro de almacenamiento y dichos medios de registro; medios de puerta conectados funcionalmente a dichos medios de regulación en tiempo para hacer que dicho primer número sea transmitido a dichos medios de registro; medios de adición conectados a dichos medios de registro de almacenamiento para sumar dicho segundo número a dicho primer número, para producir una masa; y medios para colocar dicha suma en la porción de dichos medios de almacenamiento que almacenó anteriormente dicho primer número.

15 20 25 30 15.- El sistema según la reivindicación 14, en el cual dichos medios generadores de números comprenden además: medios finales para determinar que ha sido completado un corte rectilíneo, haciendo dichos medios fina-



los que dichos medios generadores de números generen nuevos primero y segundo números relativos a un corte rectilíneo siguiente, y para almacenar dichos números en dichos medios de almacenamiento.

5 16.- El sistema según la reivindicación 15, que comprende además: medios de régimen para hacer variar el régimen de alimentación de dicha máquina herramienta.

10 17.- El sistema según la reivindicación 16, en el cual dichos medios de régimen comprenden: medios conectados a dichos medios contadores de referencia para reducir la velocidad de funcionamiento de dichos medios contadores de referencia.

15 18.- El sistema según la reivindicación 16, en el cual dichos medios de régimen comprenden: medios conectados a dichos medios generadores de números para manifestar una fracción de régimen de alimentación predeterminado; y medios dentro de dichos medios generadores de números para generar un nuevo primer número y un nuevo segundo número, de manera que reduzcan el régimen de alimentación o avance de dicha máquina herramienta por dicha fracción de régimen de avance.

20 19.- En sistema de máquina herramienta que comprende al menos una máquina herramienta de ejes múltiples y un manantial de señales que indica el recorrido deseado de cada eje para cada corte rectilíneo; un sistema de control de máquina herramienta, para generar una señal de mando de posición para cada eje, que comprende: medios generadores de números, conectados a dicho manantial de señales para generar números que representan los tiempos de ascenso y descenso de cada señal de mando de posición;

374496

17 FEB



medios de analogía de fase conectados a dichos medios ge-
neradores de números y que responden a dichos números pa-
ra generar cada una de las señales de mando de posición;
y medios de control de ciclo conectados a dichos medios
5 de analogía de fases y a dichos medios generadores de nú-
meros para hacer que estos suministren uno nuevo de dichos
números a dichos medios de analogía de fases después de
cada ascenso y descenso de cada señal de mando de posición;
comprendiendo dichos medios de analogía de fase: medios
10 contadores de referencia; medios de registro asociados
con cada uno de dichos ejes para almacenar dichos números;
medios comparadores, funcionalmente conectados a dichos
medios contadores de referencia y a cada uno de dichos
medios de registro, para producir una señal de salida cuan-
15 do el contenido de dichos medios contadores de referencia
iguala al contenido de dichos medios de registro; y medios
biestables de producción de señales, funcionalmente conec-
tados a cada uno de dichos medios comparadores, generando
cada uno de dichos medios biestables una de dichas seña-
20 les de mando de posición, cambiando su estado cada vez
que sus medios de comparación asociados producen una se-
ñal de salida; comprendiendo dichos medios de control de
ciclo: medios de indicación de eje que manifiestan las
señales sucesivas que identifican cada eje; medios de des-
25 codificación que responde a dichas señales de identifica-
ción para producir una señal descodificada; una plurali-
dad de medios de dos estados asociados a cada eje, que
tienen un primer estado que produce una primera señal y
un segundo estado que produce una segunda señal, estando
30 funcionalmente conectado cada uno de dichos medios de dos



17 FEB 1970

estados a uno de dichos medios de comparación, de manera
que adopten dicho primer estado cuando dicho primero de
los citados medios de comparación produce una señal de
salida; medios de concurrencia que responden a la concu-
5 rrencia de dicha primera señal y una señal descodificada
asociada, para producir una señal de concurrencia; medios
conectados a dichos medios de concurrencia, que responden
a dicha señal de concurrencia para impedir un cambio en
la señal manifestada por dichos medios indicadores de ejes;
10 medios de regulación en tiempo, conectados a dichos medios
de concurrencia, que responden a dicha señal de concurren-
cia para generar señales de regulación en tiempo para ha-
cer que dichos medios generadores de números suministren
uno nuevo de dichos números a dicho primero de los cita-
15 dos medios de registro; y medios conectados a dichos me-
dios de regulación en tiempo, que responden a la conclu-
sión de la generación de dichas señales de regulación en
tiempo para hacer que dicho primero de los medios de dos
estados adopte dicho segundo estado; comprendiendo dichos
20 medios generadores de números: medios para generar una
pluralidad de primeros números que representan el primer
tiempo en el cual cada una de dichas señales de mando de
posición ha de cambiar; y una pluralidad de segundos nú-
25 meros que representan el incremento de tiempo entre cam-
bios sucesivos de dichas señales de mando de posición;
medios de almacenamiento para almacenar dichos primeros
números y dichos segundos números; medios de registro
de almacenamiento, conectados a dichos medios de almace-
namiento; medios de dirección, funcionalmente conectados
30 a dichos medios de indicación de eje para hacer que el

374496

37 FEB



5 contenido de dichos medios de almacenamiento sea colocado en dichos medios de registro de almacenamiento; medios de transmisión conectados entre dichos medios de registro de almacenamiento y dicho primero de los medios de registro citados; medios de puerta conectados funcionalmente a dichos medios de regulación en tiempo para hacer que uno de dichos primeros números sea transmitido a dicho primero de los citados medios de registro; medios de adición conectados a dichos medios de registro de almacenamiento para sumar dicho primero de los citados primeros números a su segundo número asociado, para producir una suma, y medios para colocar dicha suma en la porción de dichos medios de almacenamiento que almacenaron previamente dicho primero de los citados primeros números.

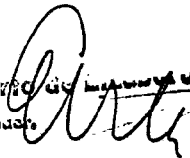
10
15 20.- Un sistema de máquina-herramienta controlada numéricamente.

Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los dibujos que se acompañan y para los fines que se han especificado.

20 La presente Memoria consta de setenta hojas escritas a máquina por una sola de sus caras.

Madrid, 17 FEB. 1970

P.A.

Alberio de 
Por Pouch

374496

12.2.70
A.A.B.

P43399

374496 I/VII

17 FEB



374496

FIG. 4

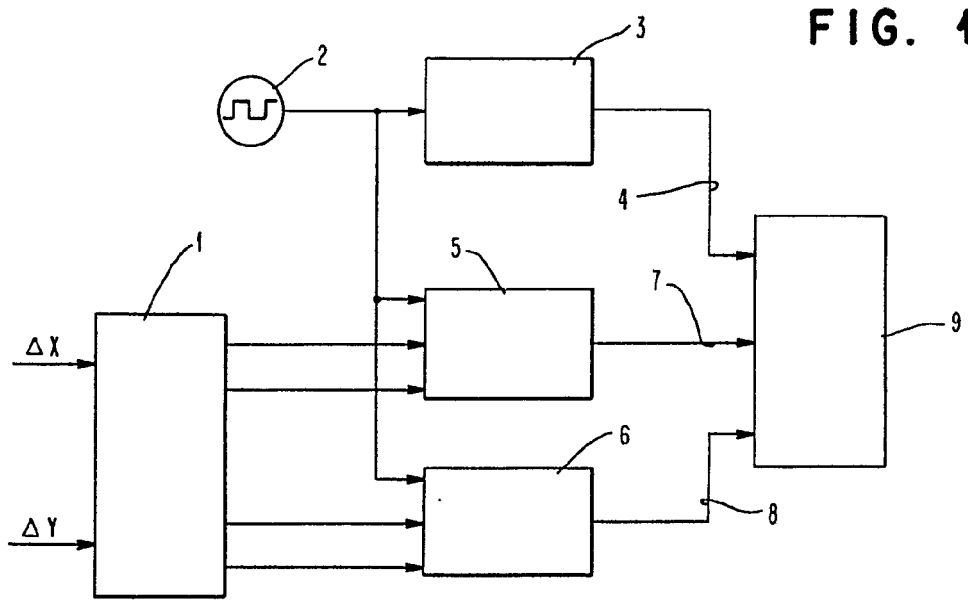
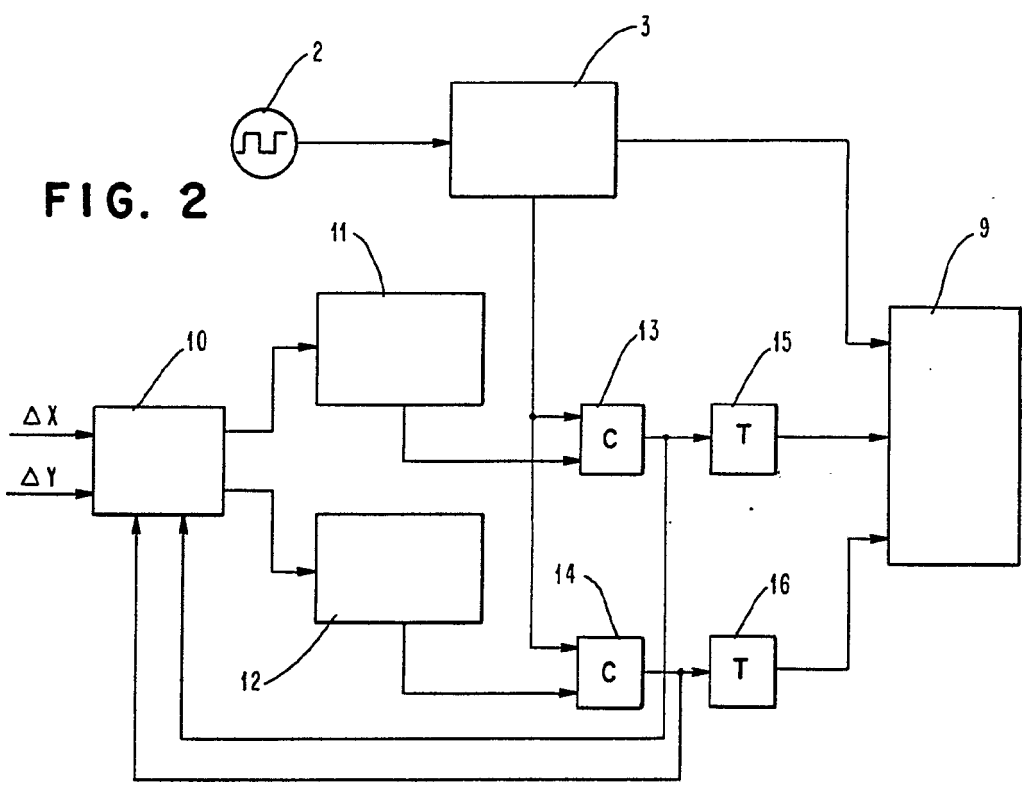


FIG. 2



Archie



374496

374496

FIG. 3

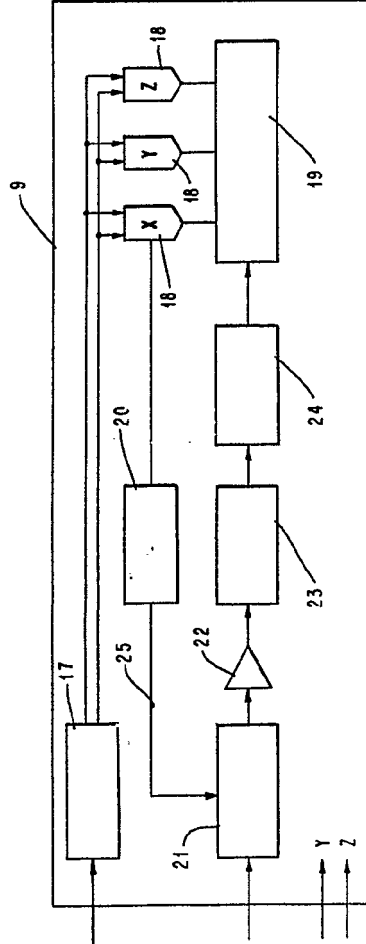


FIG. 4

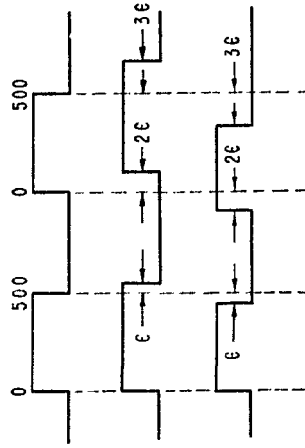
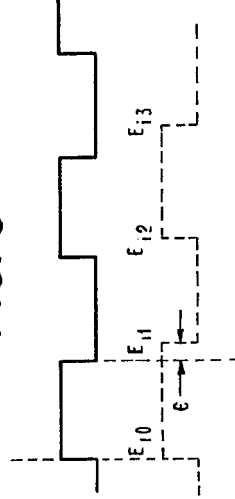


FIG. 5



Carla

374496

FIG. 3

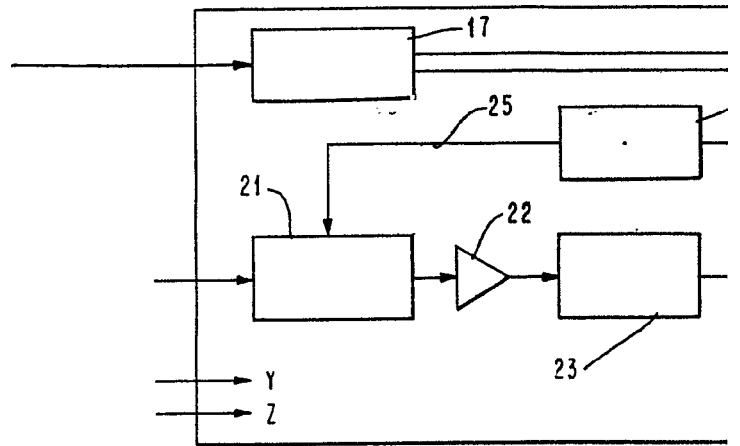
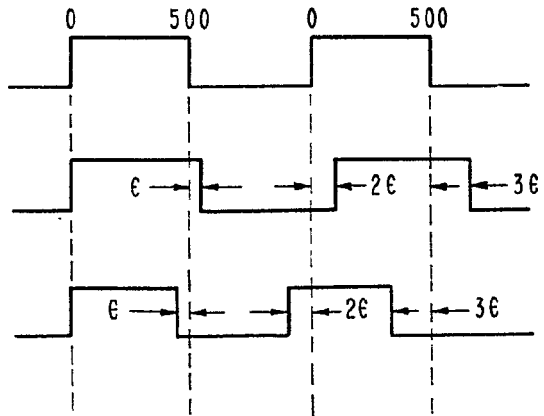


FIG. 4



374496

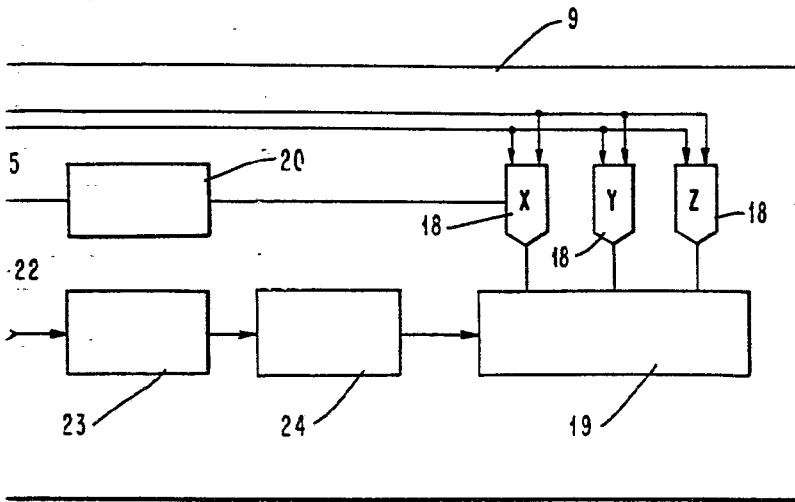
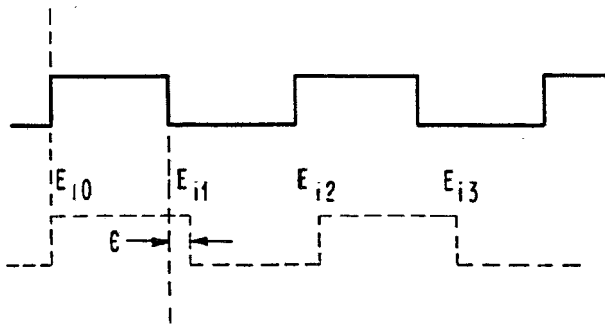


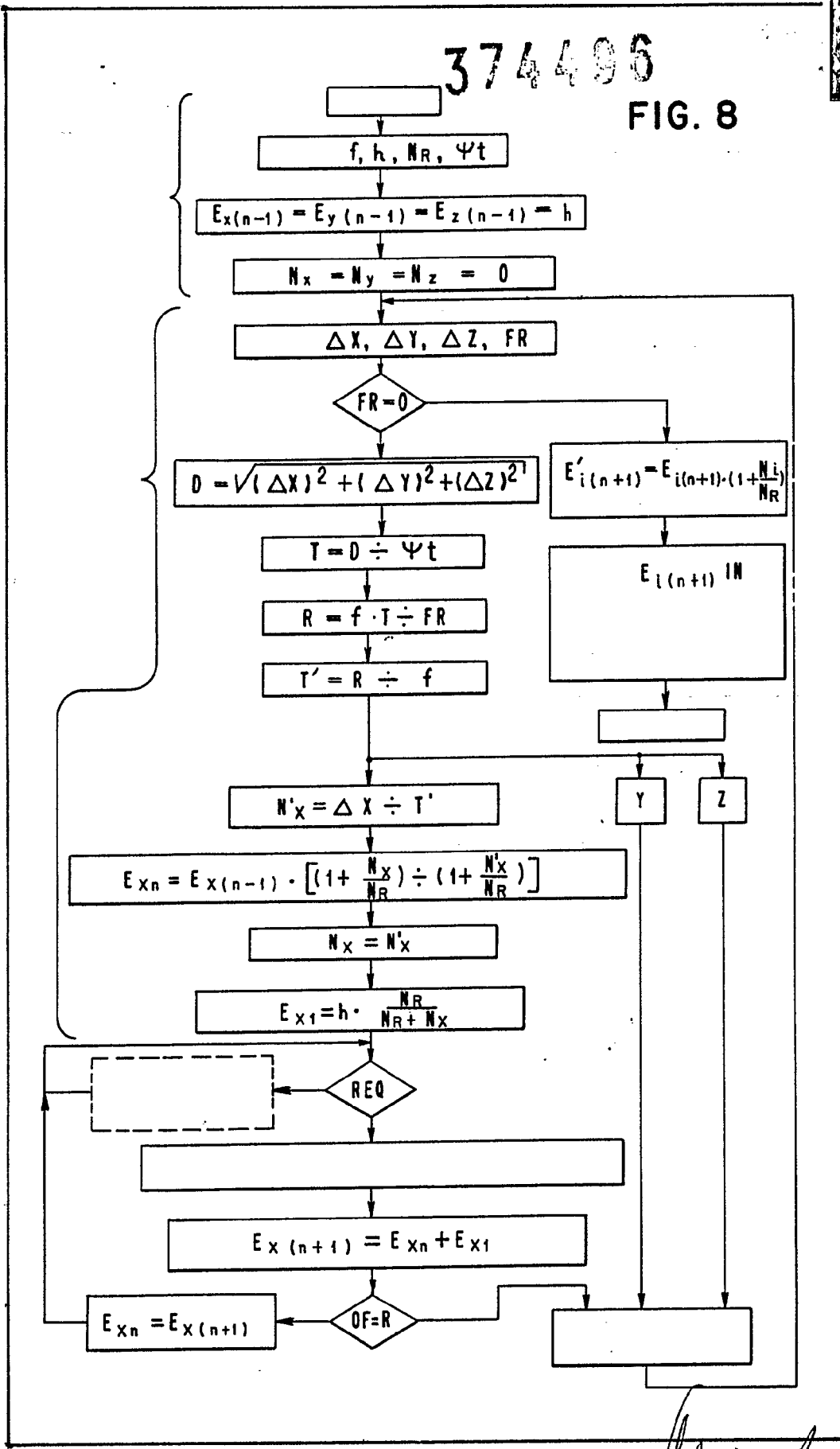
FIG. 5



Carta

374496

FIG. 8



Handwritten signature or initials.

P43397

374496



FIG. 10

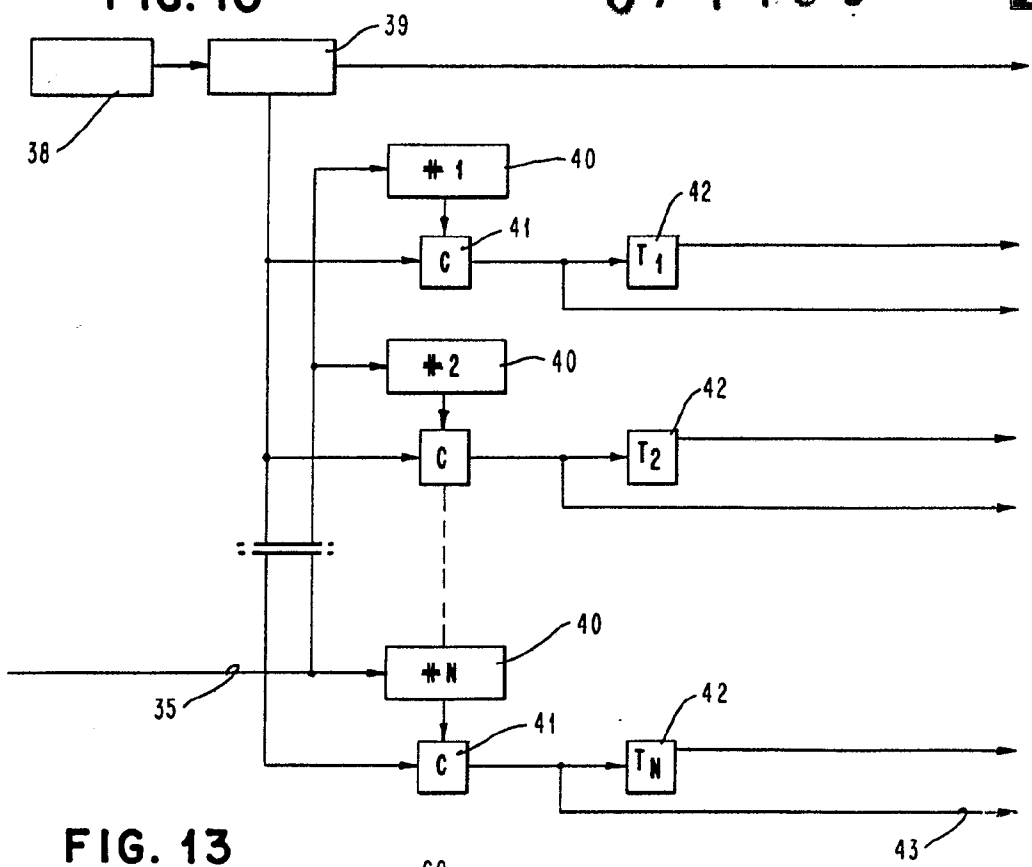
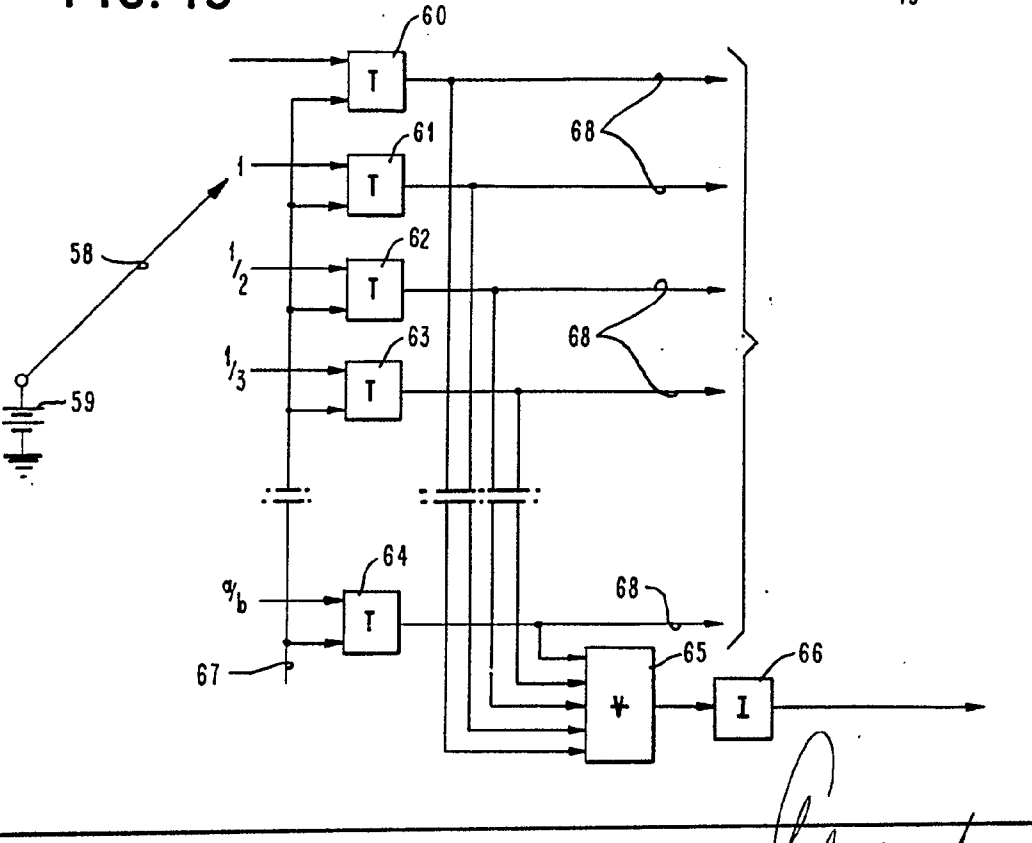


FIG. 13

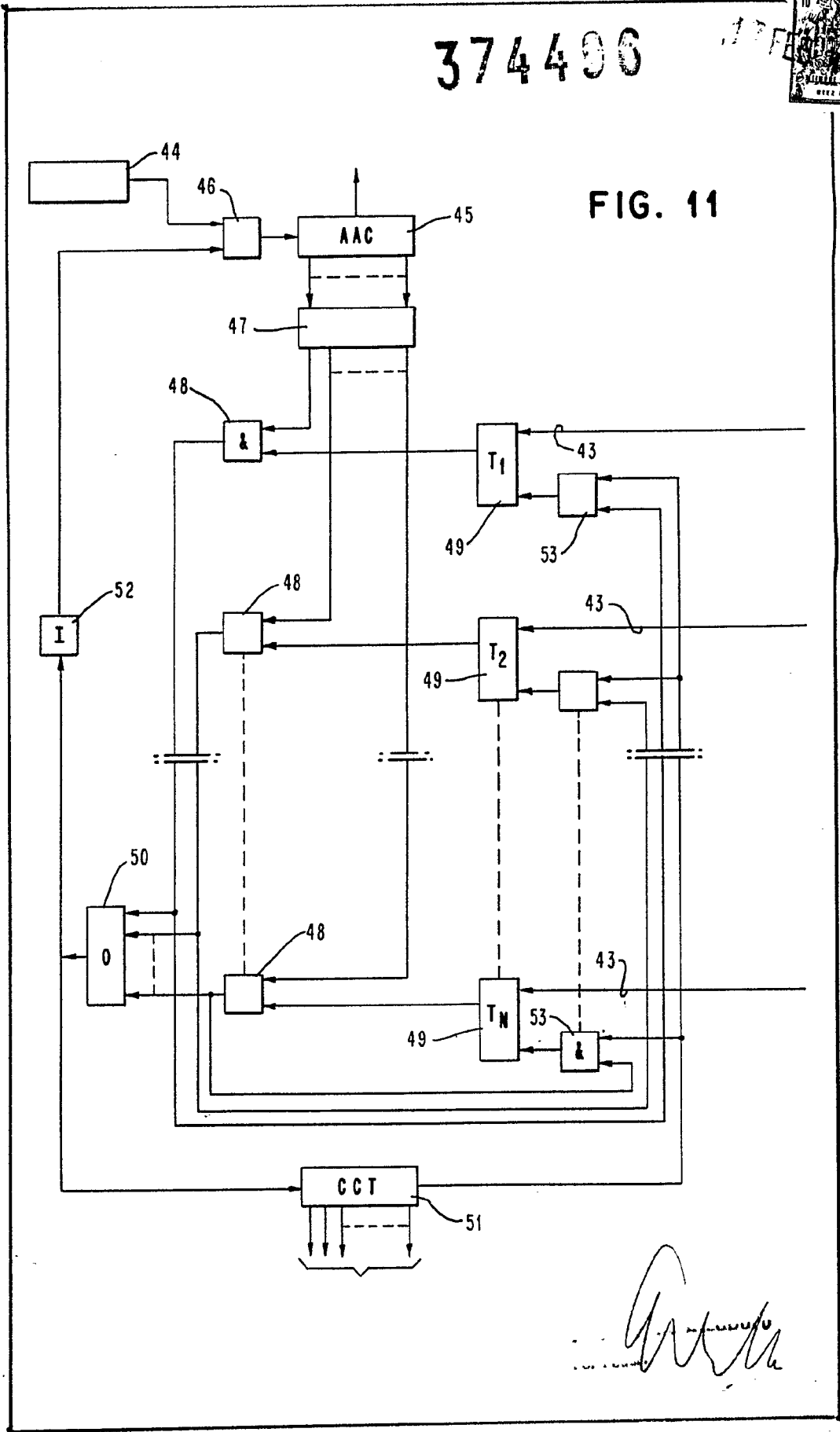


Arb

374496

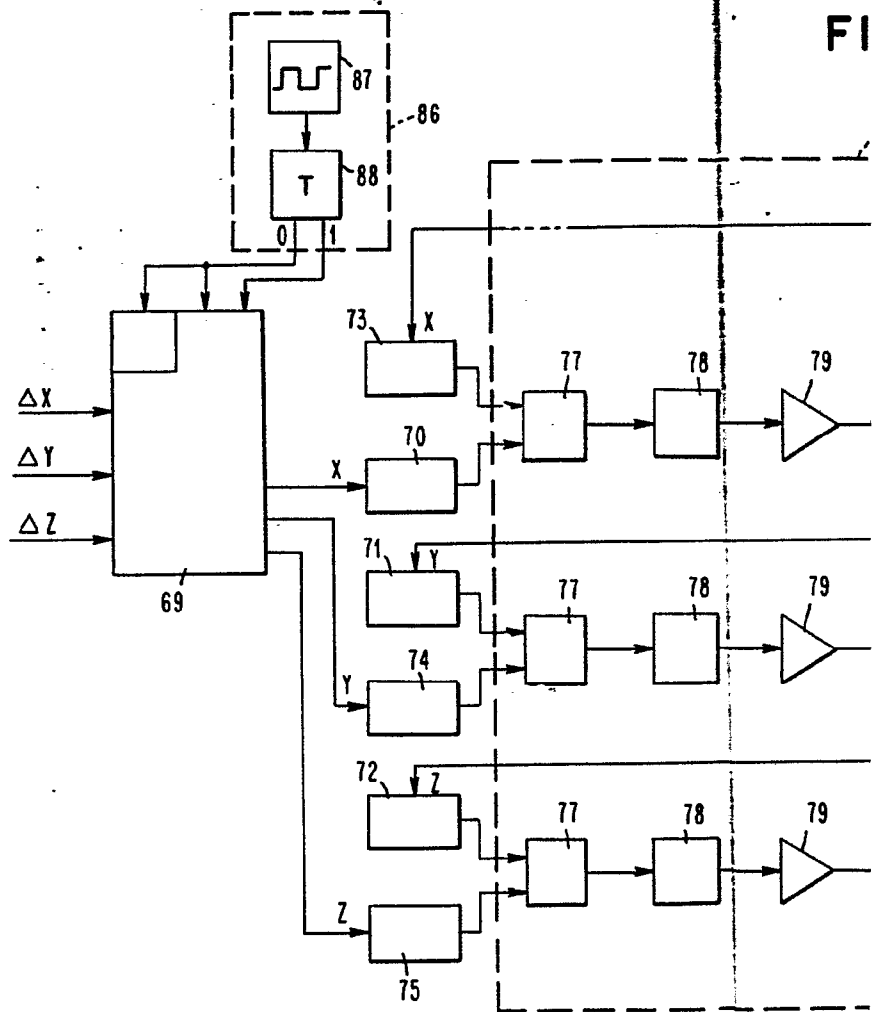


FIG. 11



[Handwritten signature]

374496



FI

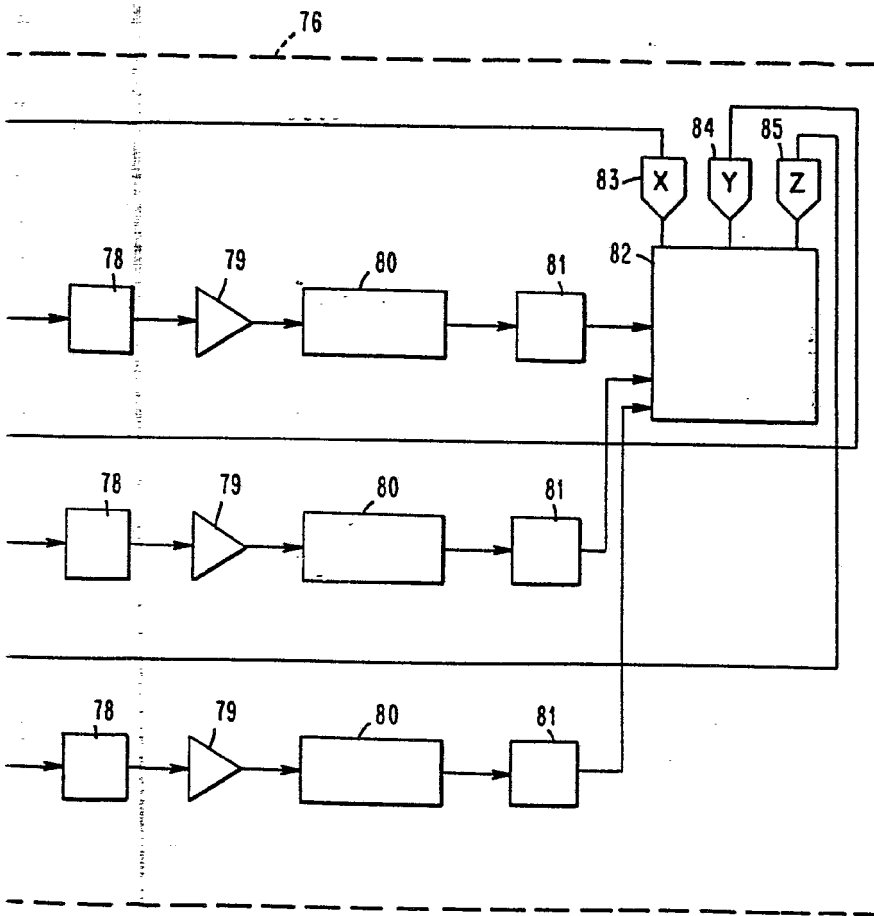
POOR
QUALITY

374490

374490



FIG. 14



Auth

POOR
QUALITY