



MEMORIA DESCRIPTIVA

correspondiente a la solicitud de una

PATENTE DE INVENCION

Solicitante: PRATT AND WHITNEY, INC.

Residencia: Charter Oak Boulevard, W. Hartford, Connecticut.- U.S.A.

Enunciado: "UN SISTEMA NUMERICO DE REGULACION PARA MOVER UNA PLURALIDAD DE PIEZAS A LO LARGO DE EJES ASOCIADOS".

Prioridad: De la solicitud de patente estadounidense No. 631.214 de 17 de Abril de 1.967.



Este invento se refiere a sistemas numéricos de regulación, y más particularmente se refiere a tales sistemas dispuestos para regular el movimiento desde un punto a otro en un sistema de ejes coordenados a lo largo de un recorrido predeterminado.

5 Tales sistemas se hallan diseñados para conseguir el movimiento o movimiento relativo de piezas mediante lo que se denomina interpolación lineal y circular a lo largo de declivos o arcos predeterminados entre puntos existentes y un punto accionado. Para conseguir tal movimiento, las diversas piezas deben moverse a lo largo de ejes coordenados a velocidades relativas específicas para definir el recorrido deseado.

10

La regulación de tales movimientos a lo largo de dos o más ejes coordenados se efectúa en máquinas herramientas que mueven una pieza con relación a una herramienta hasta lograr o definir un recorrido deseado en la pieza que se trabaje. Por ejemplo, tanto el eje de la máquina de herramienta como sus planchas transportadoras de la pieza de trabajo pueden moverse a lo largo de ejes coordenados en tanto que una herramienta cortadora funciona sobre la pieza de trabajo.

15

En los sistemas numéricos de regulación para controlar el movimiento relativo de piezas, una técnica generalmente usada es generar una pluralidad de trenes de pulsaciones en los cuales el grado de repetición de pulsaciones de cada tren es indicativo de velocidad de movimiento de una pieza con respecto a un eje, y cada pulsación es indicativa de una unidad accionada de movimiento.

20

El presente invento generalmente se refiere a sistemas de este tipo. No obstante, facilita técnicas nuevas y perfeccionadas, y más simplificadas, para generar los trenes de pulsaciones de tal modo que la frecuencia de cada tren de pulsación es continuamente proporcional a la magnitud del error de posición existente de una pieza con respecto al eje a lo largo del cuál se mueve.

25

30



De esta manera, todas las partes controladas se mueven a velocidades determinadas por los errores de ejes existentes, y distancias iguales a tales errores. Para definir un recorrido o arco circular se utilizan las técnicas citadas anteriormente, si bien la información de error posicional se modifica y aplica a generación de pulsación de mando o medios de iteración como función de la cuerda del recorrido circular y la perpendicular respectiva a partir del centro de curvatura. Tal información es indicativa de los componentes de velocidad coordinada de las piezas controladas. El movimiento de las piezas se regula pues de acuerdo con los errores de posición existentes y las velocidades coordinadas relativas de las piezas controladas.

Para lograr dicho movimiento, se aporta lógica nueva y perfeccionada que muestra los errores de posición existentes a velocidades predeterminadas, y simultáneamente genera trenes de pulsaciones independientes a los grados de repetición proporcionales deseados. El invento proporciona además nuevos y perfeccionados medios de regulación del grado de alimentación que regulan la velocidad de estado permanente y disminución de velocidad de las piezas controladas modificando el grado de alimentación programado de acuerdo con el movimiento real de las piezas. Esto evita cargas indeseadas sobre las piezas reguladas cuando se inicia el movimiento respectivo, y esencialmente elimina el error de punto extremo dado que cuando los puntos controlados se aproximan a sus puntos extremos accionados, la velocidad de movimiento respectiva depende únicamente de los errores existentes los cuales disminuyen en dirección a cero.

En los sistemas numéricos de regulación, se suministran trenes de pulsaciones de mando a servo-sistemas para cada pieza controlada a partir de un sistema de interpolación. Cada servo-sistema



mueve su pieza regulada una distancia incremental para cada pulsación de mando recibida en un grado proporcional al grado de recepción de las pulsaciones de mando. Tales servo-sistemas incluyen un dispositivo cuantificador y un registrador de posición para
5 cuantificar el movimiento resultante de la pieza regulada y acumular los datos numéricos que representan la posición resultante de la pieza regulada. Las pulsaciones de mando son generadas o iteradas por un sistema de interpolación que recibe información numérica indicativa del punto extremo accionado de movimiento de
10 cada pieza regulada y suministra pulsaciones al servo-sistema para lograr el movimiento a lo largo de cada eje que defina el recorrido deseado.

Es bien sabido que existen retardos inherentes debidos a demoras, inercia, etc. en cualquier servo-sistema. Por consiguiente, la pieza regulada no puede seguir instantáneamente los incrementos de movimiento impuestos. En consecuencia, la posición real de la pieza regulada, expresada por los datos numéricos en el registro de posición, se retrasa con respecto a la posición instantánea ordenada. Si se utiliza la información posicional expresada por el registro de posición del servo-sistema en el sistema de interpolación para indicar la posición de la pieza controlada, pueden producirse distorsiones e inexactitudes indebidas momentáneas en el recorrido deseado. El sistema de interpolación debe recibir una señal indicativa de la posición de la pieza regulada como si no existiese retardo alguno en el sistema.
15
20
25

En el presente invento se disponen medios para determinar la posición instantánea ordenada a partir de las pulsaciones de mando producidas y proporcionar los datos de posición interpolada en forma numérica que no reflejan el retardo inherente en dilaciones del sistema. El invento proporciona además un dispositivo para
30



determinar el retardo efectivo de la pieza regulada con respecto a su posición instantánea ordenada y facilitar una señal de control de retardo al servo-sistema.

5 Por consiguiente, un objeto de este invento es proporcionar un nuevo y perfeccionado sistema numérico de regulación que efectúa una interpolación lineal y circular.

Otro objeto de este invento es proporcionar un nuevo y perfeccionado sistema numérico de regulación del tipo descrito en el cual la velocidad de movimiento se regula por los errores de posición existentes definidos por la posición instantánea ordenada de las piezas y su posición extrema impuesta.

Otro objeto de este invento es proporcionar un sistema numérico de regulación que posee un dispositivo nuevo y perfeccionado para regular y coordinar la disminución de velocidad de una pluralidad de piezas controladas y detener simultáneamente dichas piezas con precisión en sus puntos extremos impuestos.

Otro objeto de este invento es proporcionar un nuevo y perfeccionado sistema numérico de regulación del tipo descrito en el cual las pulsaciones de mando son iteradas a cada servo-sistema de ejes independientemente pero a velocidades relativas determinadas por las magnitudes relativas de los errores de posición existentes de las piezas controladas.

Otro objeto de este invento es proporcionar un sistema numérico de regulación que posee nuevos y perfeccionados medios para interpolar la posición real de una pieza controlada y mostrar su posición instantánea ordenada y por ende compensar cualquier retardo en el sistema.

Otro objeto de este invento es proporcionar un sistema del tipo descrito que posee medios para determinar el retardo efectivo de la pieza controlada con respecto a la posición instantánea



ordenada y suministrar una señal de control de retardo al servosistema.

Las características del invento que se consideran nuevas son claramente expuestas y particularmente reivindicadas en la parte final de esta memoria. No obstante, puede apreciarse mejor el invento en cuanto a su organización y funcionamiento junto con otros objetos y ventajas inherentes, mediante referencia a la siguiente descripción detallada tomada conjuntamente con los planos, en los cuales:

5
10 la fig. 1 es una representación en perspectiva de piezas de una máquina herramienta susceptibles de ser reguladas en movimiento mediante un sistema que incorpora el invento;

 la fig.2 es un esquema de un sistema de tres ejes coordenados;

15 la fig. 3 es un esquema en bloque de un sistema numérico de regulación de tres ejes en el cual puede enmarcar el invento;

 la fig. 4 es un esquema, parcialmente esquemático y parcialmente en bloque, que ilustra una red para determinar el grado de alimentación de las piezas reguladas;

20 la fig. 5 es un esquema en bloque de sistemas de interpolación que incorpora el invento dispuestos para interpolación lineal;

 la fig. 6 es un esquema parcialmente en bloque que muestra la relación del control del grado de alimentación de la fig. 4 con respecto a los interpoladores de la fig. 5;

25 la fig. 7 es un esquema, parcialmente esquemático y parcialmente en bloque, que muestra un servo-sistema y señala además la relación de una red de mando instantánea, una red de compensación de retardo y una red de posición interpolada en relación correspondiente;

30



las figs. 8a, 8b y 8c son esquemas gráficos del movimiento relativo de las piezas reguladas durante la interpolación circular;

5 la fig. 9 es una representación gráfica de las coordenadas de velocidad de las piezas que se desplazan con movimiento relativo en un sistema de dos ejes definiendo un arco;

la fig. 10 es un esquema en bloque de los sistemas de interpolación de ejes dispuestos para interpolación circular;

10 la fig. 11 es un esquema de formas de onda de pulsaciones utilizadas en la regulación del sistema;

la fig. 12 es un esquema de formas de onda de marca o sincronización utilizadas en el sistema;

las figs. 13a, 13b, 14a y 14b son gráficos esquemáticos que ejemplarizan elementos lógicos usados en el sistema descrito;

15 las figs. 15 a 21, ambas inclusive, son representaciones esquemáticas de circuitos que pueden utilizarse en un sistema que incorpora el invento.

El presente sistema puede utilizarse para regular el movimiento relativo de una pluralidad de piezas a lo largo del sistema de ejes múltiples. Tal sistema puede utilizarse para regular los movimientos relativos de un eje coordinado de una máquina herramienta, generalmente ilustrada por el número de referencia 20, fig. 1. Esta máquina herramienta puede comprender un lecho o mesa 21 con un segundo lecho o mesa 22 sobrepuesto, el cual es movable en dos ejes coordinados identificados como ejes X y Z, y un bloque de eje 23, movable a lo largo de un tercer eje coordinado Y. El bloque de eje 23 se halla montado en un bastidor de máquina, no representado, y la mesa 21 es movable a lo largo de los ejes X y Z mediante motores de mando 24 y 25, y husillos de avance asociados 26 y 27, respectivamente. El bloque de eje 23 con el eje 28 incorporado es mo-

20

25

30



vible a lo largo del eje Y por medio de un motor 29 y un husillo de avance 30.

La fig. 2 ilustra un sistema coordinado de tres ejes. El movimiento relativo de las piezas 21, 22 y 23 a lo largo de recorridos controlados puede utilizarse para mover una herramienta cortadora 31 a lo largo de un declive S con respecto a una pieza de trabajo W, o a lo largo de un arco AR.

El sistema descrito a continuación puede considerarse que posee una referencia cero o punto central O y todos los movimientos de las piezas controladas van orientados a un punto extremo E_1 o E_2 desde los puntos existentes E_1' o E_2' con respecto a la distancia que las piezas deben recorrer a lo largo de cada eje para alcanzar dicho punto extremo. Imaginemos que el declive S ha de definirse sobre una pieza de trabajo W por medio de la herramienta cortadora 31, y ésta se encuentra en el punto E_1' . El sistema regulador habrá acumulado las coordenadas del punto E_1' con respecto a O. Cuando se lean dichas coordenadas del punto E_1 en el sistema, se indicarán errores a lo largo de todos los ejes, cuyos errores son indicativos de las distancias coordinadas entre los puntos E_1 y E_1' . El sistema interpolará este error en mandos de movimiento y velocidad para cada uno de los motores 24, 25 y 29 y las piezas 21, 22 y 23 se moverán de tal modo que la herramienta cortadora 31 definirá el recorrido S (superficie S, fig. 1) sobre la pieza W. Esto se conoce como interpolación lineal. En los casos en que las piezas controladas se mueven de modo que la herramienta cortadora 31 define un arco AR, esto se denomina interpolación circular.

Nos referimos ahora a la fig. 3 que representa en esquema de bloque un sistema numérico de regulación 32 en el cual puede enmarcar el invento. Los motores 24, 29 y 25 que ordenan el movimiento de las piezas de máquina controladas son accionados mediante



5 servo-sistemas para cada eje 33, 34 y 35 que incluyen los motores de mando. Los servo-sistemas 33, 34 y 35 son del tipo respondiente a las pulsaciones que mueven una pieza controlada una distancia unitaria por cada pulsación recibida en un grado proporcional al grado de aplicación de pulsaciones a los mismos.

10 En el sistema 32 las instrucciones de movimiento son codificadas sobre una cinta 37 u otro medio de registro, en forma binaria o binaria codificada decimal. Después, a medida que se lee cada hilera o línea de la cinta por medio de un dispositivo de lectura 38, es descodificada por medio de un descodificador 39 y traducida a forma binaria pura por el traslator 40. La operación del dispositivo de lectura de cinta 38, descodificador 39 y traslator. 40 se coordina y regula mediante una red de control de lectura de 15 cinta 41, que indica al dispositivo de lectura cuándo debe avanzar para leer otro bloque de información en respuesta a señales procedentes del descodificador y del traslator. Los sistemas de lectura, descodificación y traslación del tipo aquí expuesto son bien conocidos para los expertos en la materia y no se describirán en detalle. El sistema puede disponer también de un dispositivo manual de entrada 20 42 para que el operador de la máquina lea directamente las coordenadas de un punto en el interior del sistema.

25 El punto dispuesto para cada eje es transmitido desde el traslator 40 para ordenar los registros 43, 44, 45 y 46. Las órdenes son en forma de coordenadas con respecto a cada eje y con respecto al punto de referencia O. Los puntos coordinados pueden ser más o menos con respecto al punto O. Los registros X, Y y Z son registros binarios de recirculación que almacenan una posición ordenada en forma de un punto coordinado para el eje particular. El registro de mando R 46 se utiliza durante la interpolación circular 30 para almacenar órdenes de radio y generar un arco AR. Cuando los



5

10

15

servos X, Y y Z mueven una pieza de máquina, los cuantificadores 47, 48 y 49 generan pulsaciones discretas, cada una de ellas indicativa de una unidad predeterminada de distancia a lo largo de su eje respectivo. Los cuantificadores son con preferencia del tipo electro-óptico descrito en la solicitud asimismo pendiente de Johann Reuteler y Robert Anderson No. 577.891, depositada el 8 de Septiembre de 1966, cedida al mismo cesionario que esta solicitud. Las pulsaciones cuantificadas se aplican respectivamente a los registros de posición 51, 52 y 53. Los registros de posición contienen en forma binaria la posición real de una pieza a lo largo de un eje particular con respecto al punto de referencia 0. Tanto los registros de mando como los registros de posición son con preferencia de recirculación, disponiendo del mismo número de dígitos binarios ("bits"). Para fines de discusión, se considerará que estos registros tienen todos diez y seis "bits", uno de los cuales indica una señal numérica.

20

25

Para regular el movimiento de cada pieza a lo largo de su eje respectivo, se compara la posición instantánea dispuesta de las piezas, representada por la información contenida en los registros de mando instantáneo (ICR) 54, 55 y 56, con el punto ordenado en el registro de mando para dicho eje en los comparadores 57, 58 y 59. La información resultante en los comparadores 57, 58 y 59 es indicativa del error existente entre la posición instantánea dispuesta de una pieza de máquina particular y la posición ordenada. Esta señal de error se utiliza para mover la pieza controlada para dicho eje hasta que el error disminuye a cero. Tal comparación tiene lugar cada ciclo de recirculación, compuesto por un número predeterminado de ciclos cronometrados.

30

El resultado de la comparación de la posición dispuesta y la posición interpolada (a partir de ICR) de cada pieza se aplica

- 3 ABR 1968



5 a un interpolador para cada eje 60, 61 y 62. Los interpoladores 60, 61 y 62 generan o suministran pulsaciones de mando a los servos 33, 34 y 35 respectivamente, en grados proporcionales a los errores existentes entre la posición ordenada e interpolada de cada pieza. El grado de producción de pulsaciones de mando está además determinado por una red reguladora de grado de alimentación descrita más adelante.

10 Un generador de pulsaciones cronométricas u oscilador 64 genera señales o pulsaciones sincrónicas a intervalos predefinidos y tales pulsaciones sincrónicas se aplican a todos los registros de recirculación para producir un cambio cada ciclo cronométrico de una manera bien conocida en la industria. Las pulsaciones cronométricas procedentes del oscilador 64 se aplican también a un generador binario de frecuencia 65 que puede comprender un tren de multi-vibradores biestables o flip-flops que funcionan entre uno de dos estados estables. El generador binario de frecuencia de este tipo es bien conocido de los expertos en la materia y básicamente comprende una cadena de flip-flops conectados entre sí como un computador. Las pulsaciones no excedentes procedentes de cada flip-flop son detectadas para producir una pluralidad de trenes de pulsaciones que poseen frecuencias relacionadas en forma binaria y cuyas pulsaciones se producen a distintos intervalos de tal modo que no se sobrepone ninguna en los diversos trenes de pulsaciones. Estos trenes de pulsaciones pueden designarse como $bf_1 - bf_{16}$ y se aplican a un regulador de ajuste de grado de alimentación 66 que puede ser del tipo descrito en la solicitud asimismo pendiente de Johann Reuteler No. 349.215, depositada el 4 de Marzo de 1964 y cedida al mismo cesionario que el presente invento. El regulador de ajuste de grado de alimentación que puede ser fijado manualmente por el operador

15

20

25

30



de la máquina se aplica a un generador de frecuencia de grado de alimentación 67. El generador de frecuencia de grado de alimentación 67 puede tener la forma de un multiplicador de velocidad de pulsaciones que multiplica una frecuencia de pulsación procedente del regulador de grado de alimentación 66 por un número recibido de un registro acumulador de grado de alimentación 68 y produce una frecuencia de pulsación f_p proporcional a dicha multiplicación. El número de grado de alimentación se aplica al registro acumulador 68 a partir del traslator 40. El número de grado de alimentación se halla predeterminado en el dispositivo de cinta para ordenar la velocidad de movimiento de las piezas de la máquina y en particular el movimiento relativo de la herramienta cortante 31 con respecto a la pieza que se trabaja W.

El generador de frecuencia de alimentación 67 proporciona la frecuencia de pulsación f_p que está determinada por el número de grado de alimentación leído a partir de la cinta y cualquier invalidación manual respectiva llevada a cabo por el regulador de ajuste de grado de alimentación y el grado de alimentación programado.

La frecuencia de pulsaciones de alimentación f_p se aplica a una red reguladora de grado de alimentación 80 que determina el grado en el cual pueden iterarse las pulsaciones de mando por parte de los interpoladores 60, 61 y 62. El regulador de grado de alimentación 80 aplica señales de habilitación a los interpoladores 60, 61 y 62 y recibe señales indicativas de las pulsaciones potenciales a partir de los mismos y a través de un paso de excitación funcional 88 determinado por un comparador de magnitud de errores 93. El comparador de magnitud de errores 93 determina las magnitudes relativas de los errores de posición interpolada, recibiendo entradas procedentes de los comparadores 57, 58 y 59, y re-



5 regula el paso de excitación funcional 88 en respuesta a dicha comparación. Las pulsaciones iteradas procedentes de los interpoladores 60, 61 y 62 son aplicadas después al regulador de grado de alimentación 80 en forma determinada por el paso de excitación funcional 88, según se describirá con mayor detalle más adelante.

10 Durante la interpolación lineal las piezas controladas son movidas en relación recíproca de tal modo que la herramienta cortadora 31 define un recorrido lineal desde una primera posición E_1 a una segunda posición E_1' , fig. 2. A lo largo de este recorrido lineal la herramienta cortadora 31, que puede ser una herramienta circular de corte, corta normalmente en línea recta S en tres dimensiones. Resultará evidente que para definir la línea recta S, según se representa en el sistema de ejes coordenados de la fig. 2, debe sincronizarse la velocidad de movimiento de las piezas con
15 respecto a cada una de ellas durante su movimiento, de tal modo que todas ellas alcancen sus puntos extremos coordenados al mismo tiempo. Se observará además que la ecuación matemática de la línea S que representa un recorrido lineal con respecto a tres ejes coordenados puede definirse como

20
$$A^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 \quad (I)$$

Si bien podría preverse un sistema de circuitos lógicos para programar y regular el movimiento o movimiento relativo de las piezas de la máquina según la Ecuación I, tal sistema de circuitos lógicos resultaría bastante complejo y sofisticado.

25 Por consiguiente, el presente invento proporciona nuevos y perfeccionados medios para regular la velocidad resultante de las piezas mecánicas a medida que se mueven relativamente a lo largo de dos o más ejes. Tal regulación se consigue mediante una aproximación de la Ecuación I con límites impuestos sobre las ecuaciones aproximadas que dependen del declive de la línea A.
30



Una ecuación ejemplar aproximada es

$$2,5 V_r = 2,5 G + M + 0,75 S \quad (II)$$

en la cual V_r es el vector resultante con respecto a tres ejes
G es la orden de distancia de eje más largo (error)
5 M es la orden de distancia de eje de largo medio, y
S es la orden de distancia de eje menor.

Si el recorrido resultante deseado reside únicamente
en dos ejes, la Ecuación II se convierte en

$$2,5 V_r = 2,5 G + S \quad (III)$$

10 A continuación se describe la forma en la cual fun-
ciona el sistema de interpolación de acuerdo con las ecuaciones
anteriores.

Al considerar el sistema de interpolación, no debe
haber confusión alguna con el servo-sistema que en un dispositi-
15 vo de comparación tal como un computador bidireccional contiene
la suma algebraica instantánea de las pulsaciones de mando producidas por un
sistema de interpolación y las pulsaciones artificiales indicativo de las dis-
tancia real recorrida merced a la recepción de las pulsaciones de
mando. Los sistemas de interpolación que se describen a continua-
20 ción computan el error de posición existente entre las coordena-
das de la posición extrema dispuesta y la posición interpolada, y
producen pulsaciones de mando en grados que corresponden a tales
errores posicionales existentes.

Según se ha mencionado anteriormente, el sistema se
25 halla acondicionado para mover una pieza desde un punto existente
a un punto ordenado. Al comienzo de dicha operación, las coordena-
das del punto existente serán numéricamente acumuladas en los di-
versos registros de posición de ejes y las coordenadas del punto
ordenado se acumularán en los registros de mando de ejes. La di-
30 ferencia entre las coordenadas existentes de las piezas con res-



pecto a los puntos ordenados se conoce como el error de posición. El error de posición para el eje X, E_x es facilitado por

$$E_x = X_o - X_t \quad (IV)$$

donde X_o es la coordenada X del punto ordenado, y X_t es la coordenada X de la posición interpolada de la pieza controlada.

5

La red reguladora de grado de alimentación 80 incluye un computador bidireccional 81. Las pulsaciones de grado de alimentación f_p procedentes del generador de frecuencia de grado de alimentación 60 (fig. 3) se aplican a las tres primeras fases del computador 81 como cálculos positivos. Para asegurar que las entradas y excesos en las fases segunda y tercera no son coincidentes, pueden disponerse fases de cambio 82 que detengan las entradas durante una fracción de un ciclo cronométrico. A medida que se aplican pulsaciones de grado de alimentación al computador 81, aumenta el cómputo acumulado en el mismo, y cuando las fases séptima y/o octava acumulan binarios, se aplica una señal a un paso de coincidencia o "AND" 83, a través de un paso "OR" 84, que es abierto periódicamente por una pulsación bf_4 procedente de un generador de frecuencia binaria 58, que se produce cada diez y seis ciclos cronométricos, o cada ciclo de recirculación.

10

15

20

25

30

Cada dos ciclos de recirculación se hace pasar una pulsación bf_5 por un paso "AND" 85 si se halla presente un "bit" en la fase séptima del computador 81. Cada cuarto ciclo de recirculación se hace pasar una pulsación bf_6 por un paso "AND" 86 si se halla presente un "bit" en la sexta fase del computador binario 81. Las potencias de salida de pasos 83, 85 y 86, si existen, actúan como señales reguladoras a un dispositivo biestable o flip-flop 87, en lo sucesivo denominado registro de memoria de iteración. Cuando el registro de memoria de iteración 87 se halla montado abre los pasos de error en los sistemas de interpolación de ejes para un ciclo



de recirculación, según se describe más adelante. El registro de memoria 87 recibe una señal de reajuste bf_4' cada ciclo de recirculación que se produce inmediatamente antes de una pulsación bf_4 .

5 Las pulsaciones de mando procedentes del sistema de interpolación de cada eje (fig. 7) son aplicadas a las fases dos, tres, cuatro y cinco del computador 81 como cómputos en disminución a través de un paso de excitación funcional 88. El paso de excitación funcional 88 es esencialmente una red de
10 conmutación, descrita más adelante, que correlaciona las pulsaciones de mando de ejes iterados a sus fases apropiadas en el computador 81 que dependen del movimiento ordenado para cada eje. En la fig. 4, las líneas G, M y S corresponden a G, M y S de las ecuaciones II y III. La conmutación necesaria en el paso 88 es
15 respondiente a la detección de la magnitud de los errores de ejes lo cual se consigue mediante un comparador de magnitud de errores 93, fig. 7, descrito más adelante. El comparador de magnitud de errores hace que el paso de excitación funcional 88 aplique las pulsaciones de mando producidas selectivamente a las líneas
20 G, M y S. Las líneas G, M y S conducen a fases del computador 81 que poseen la razón numérica de 2,5:1:0,75 que corresponde a los coeficientes de la Ecuación II.

A medida que el sistema de interpolación para cada eje produce una pulsación de mando, cada pulsación disminuye el
25 computador 81 en un peso numérico relativo proporcional al error a lo largo de dicho eje en relación con los coeficientes de G, M y S (Ecuación II). Por ejemplo, imaginemos que la posición real de la herramienta cortadora y los ejes coordenados X, Y, Z es X = 5, Y = 6 y Z = 7, y la herramienta de corte recibe la orden
30 de definir una línea recta de corte al punto X = 10, Y = 9, Z = 8.



5 Con referencia a la Ecuación II puede verse que el mayor error de posición G es a lo largo del eje X, el error medio de posición es a lo largo del eje Y y el menor error de posición es a lo largo del eje Z. Las magnitudes de estos errores serán detectadas por el comparador de magnitud de error 93 y se aplicarán señales de conmutación apropiadas al paso de excitación funcional 88 de tal modo que las pulsaciones iteradas procedentes de las redes X, Y y Z de interpolación se aplican a través del paso de excitación funcional a las líneas \bar{G} , \bar{M} y \bar{S} , respectivamente. De este modo, cada pulsación de mando procedente del sistema de interpolación de ejes X disminuirá el computador 81 en una proporción dos y media veces mayor que una pulsación iterada procedente de la red de interpolación de ejes Y.

15 Si se hace trabajar a la herramienta cortante solamente en dos ejes, se seguiría la Ecuación III, y las pulsaciones iteradas procedentes de las redes de interpolación de dos ejes utilizadas serían aplicadas a las líneas \bar{G} y \bar{M} , según la magnitud del error a lo largo de dichos ejes.

20 Para conseguir que el movimiento de las piezas defina la línea deseada, resultará evidente que las piezas deben moverse a velocidades relativas proporcionales a los errores de posición relativa. Por consiguiente, el grado en el cual se producen las pulsaciones de mando para cada eje es proporcional al error de posición de dicho eje. Cada pulsación de mando producida se utiliza para disminuir el computador 81.

25 Con esta operación de la red reguladora de grado de alimentación resultará evidente que el número respectivo es una función de la frecuencia de grado de alimentación f_p y el movimiento de las piezas controladas.

30 Para evitar el exceso y reajuste del computador 81,



un paso de coincidencia 89 registra cuando los cuatro "bits" de orden más elevados contienen binarios y bloquea el paso 89a para evitar la aplicación de pulsaciones de grado de alimentación adicionales al computador 81. No obstante, el que se encuentra en posición de orden más elevada puede aun ser el sujeto de un factor prestado debido a las pulsaciones de disminución aplicadas sobre las líneas G, M y S.

Nos referimos ahora a la fig. 6 que ilustra el sistema de interpolación lineal para interpolación de tres ejes. El sistema de interpolación 90 de la fig. 6 se describe en esquema de bloque funcional y generalmente comprende una red de interpolación 60, 61 y 62 para cada eje, un regulador de grado de alimentación 80 (fig. 6) y un detector de magnitud de error o comparador 93. Como quiera que cada una de las redes de interpolación es idéntica a las demás, se explicará solamente una en detalle. Los elementos de cada red de interpolación muestran iguales números de referencia con sufijos de letra de identificación apropiados (x, y, z).

El interpolador 60, representado en la fig. 6, incluye el comparador 57 en forma de un substractor 89x que determina la diferencia entre la posición ordenada X_o y la posición real (o la posición interpolada X_t según se describe a continuación) de la pieza movable a lo largo del eje X. Este substractor resta la cantidad X_t , que es la posición interpolada del lecho 22, de la posición ordenada. El error absoluto resultante, junto con los errores absolutos procedentes de los substratores 89y y 89z de todos los interpoladores 60, 61 y 62, se aplica al comparador de magnitud de error 93 el cual determina el error de posición absoluto mayor, medio y menor con respecto a los tres ejes. El resultado de tal comparación se aplica al paso de excitación funcional 88, que



efectúa las conexiones apropiadas de las líneas G, M y S (fig. 4) al computador bidireccional 81.

5 El error E_x se aplica también a un paso de error 94x que es abierto periódicamente por el registro de memoria de iteración 87. Cuando se abre, el paso de error 94x permanece abierto durante un ciclo completo de recirculación de tal modo que todo el contenido del substractor 89x pasa a través del mismo. El error, cuando pasa a través del paso de error 10 94x, es aplicado a una fase adicionadora 95x y se añade a un número existente en un registro acumulador de recirculación, denominado registro de residuo 96x. Este número del registro de residuo con el error E_x añadido al mismo por medio del adicionador 95x circula además a través de un adicionador o sumador bidireccional 97x donde otro número proporcional a la magnitud del mayor de los errores de posición es añadido a o restado del mismo. 15 El número resultante circula luego de nuevo en el circuito 98x que comprende el registro de residuo 96x, adicionador 95x y adicionador bidireccional 97x. El adicionador bidireccional 97x incluye además un registro de memoria 99x que se halla montado en un estado indicativo del signo del número en el circuito 20 98x.

Nos referimos ahora al comparador de magnitud de error 93 que determina el mayor de los errores de ejes existentes. Este error en magnitud absoluta E_m se aplica a un adicionador 25 100 que contiene un número L proporcional a la respuesta de los servo-sistemas para cada eje o, dicho de otro modo, contiene en todo momento un número predeterminado por la respuesta de los servo-sistemas. A este número constante L se añade la magnitud absoluta del mayor error de posición de ejes E_m . La suma resultante L + E_m se aplica a los adicionadores bidireccionales 97x, 30



97y y 97z de cada interpolador, cada ciclo de recirculación.

El número del circuito de recirculación se ve modificado cada ciclo respectivo por la suma $L + E_m$, y puede modificarse además por el error E_x , si el registro de memoria de iteración 87 abre el paso de error 94x. Si no se abre el paso de error 94x, entonces la suma $L + E_m$ hará que el número del circuito de recirculación enmarque continuamente cero. El registro de memoria 99x se halla montado en una condición indicativa del signo del número del circuito de recirculación cada ciclo respectivo. La suma $L + E_m$ se aplica después en el signo opuesto al significado por el registro de memoria de signos 99x. Por ejemplo, si el número del circuito de recirculación es negativo, la suma $L + E_m$ aplicada al adicionador 98x durante el siguiente ciclo de recirculación lo será como número positivo, y viceversa. Tal suma hará que el número del circuito de recirculación enmarque continua y consecutivamente cero, a menos que se añada el error E_x . Cuando esto ocurre, el número del circuito de recirculación puede tener el mismo signo en dos o más ciclos consecutivos de recirculación, o dicho de otro modo, la suma $L + E_m$ puede ser consecutivamente sumada o restada al número del circuito de recirculación en dos ciclos de recirculación consecutivos. Tal circunstancia es detectada en un detector de pulsaciones de interpolación 101x, que a continuación genera o produce una pulsación de mando la cual se aplica al servo-sistema de ejes X, como pulsación de mando, y también al computador bidireccional 81 del regulador de grado de alimentación 80 para disminuir el cómputo respectivo sobre una de las líneas G, M o S, fig. 6.

Si no se abre el paso de error 94x el circuito 98x llegará a un estado en el cual el número correspondiente alterna sensiblemente entre $L + E_m$ y $-(L + E_m)$. Imaginemos que se añada



ahora un error E_x a $L + E_m$; el número resultante en el circuito 98x es $E_x + (L + E_m)$, detectado en signo por el registro de memoria 99x. Después se añadirá la cantidad $-(L + E_m)$ cada ciclo de recirculación hasta que el número del circuito 98x se haga negativo. El registro de memoria 99x se halla montado por un signo y se reajusta mediante otro. Si el registro de memoria 99x no cambia cada ciclo de recirculación, tal falta de cambio de estado es detectada por el detector de pulsaciones de interpolación 101x, el cual produce después una pulsación de mando. Los números consecutivos en el circuito 98x de un signo indicarán una dirección de movimiento a lo largo del eje X mientras que los números consecutivos del otro signo indicarán la otra dirección de movimiento a lo largo del eje X.

Para una mejor comprensión del funcionamiento del adicionador bidireccional y el circuito de recirculación, incluido el registro de residuo, imaginemos que el número RR en el registro de residuo 96x es cinco, que el factor de proporcionalidad L es ocho, y que el mayor error E_m es menos seis, y $E_m = E_x$. Imaginemos también que el paso de error 94x es abierto cada tercer ciclo de recirculación por el regulador de grado de alimentación 80.

Dado que el error $E_x - X_c - X_p$ es negativo, esto indica que la pieza controlada debe moverse en una dirección X negativa.

Nos referimos ahora a la Tabla I. Al comienzo del primer ciclo de recirculación, el número RR en el registro de residuo 96x es cinco positivo. Por lo tanto $(L + E_m)$ se resta de RR en el adicionador 97x dando menos cinco. El signo inicial de RR, al ser positivo, fijará el registro de memoria 99x en un estado indicativo del signo positivo. Entonces se inserta $(L + E_m)$ como número negativo, menos 10. Al final del ciclo de recirculación, el número del registro de residuo es menos 5.



5 Durante el siguiente ciclo de recirculación se aplica la constante ($L + E_m = 10$) al adicionador 97x. Esta constante se añadirá dado que el número del circuito de recirculación 98x es negativo (-5), así pues al final del segundo ciclo de recirculación el número del registro de residuo será negativo cinco más diez, o más cinco.

10 Durante el tercer ciclo de recirculación el error $E_x = -6$ se introducirá en el adicionador 95x lo cual significa que el número $R + E_x$ que circula en el interior del adicionador 97x será menos uno al cual se añadirá menos diez. Así el número resultante en el circuito de recirculación será menos once. Este fija a continuación el registro de memoria 99x a un estado indicativo de un número menos en el circuito 98x.

15 Después durante el cuarto ciclo de recirculación, se añade la suma ($L + E_m$) al número RR y el resultado es ($-11 + 10 = -1$), que se convierte en el número RR.

20 Durante el quinto ciclo de recirculación, el registro de memoria 99x todavía indica un número negativo en el circuito de recirculación 98x. Por lo tanto se añade nuevamente ($L + E$) en el adicionador 97x.

25 Se observará que durante el tercero y cuarto ciclos de recirculación el número que circula en el circuito 98x es negativo durante ambos ciclos. Por consiguiente, la cantidad $L + E_m$ se añade a RR durante los cuarto y quinto ciclos de recirculación. Cualquiera de estas condiciones es detectada por el detector de pulsaciones de interpolación 101x que suministra una pulsación de mando al servo-sistema de ejes X en respuesta a tal detección. Los signos de los números consecutivos RR indicarán la dirección de movimiento de la pieza controlada por el servo-sistema de ejes X. En este caso los dos números negativos consecutivos durante el

30



- 3 ABR 1955

TABLA I

Número de Ciclos de Recirculación	RR	R ⁺ E	(R ⁺ E) $\frac{1}{2}$ (L+Em)	Ex	L	(L+Em)	
	5			-6	4	10	
5	1 Principio	5	5 - 10 = - 5	-6	4	10	
	Final	-5					
	2	-5	- 5 + 10 = + 5	-6	4	10	
		5					
	3 -	5	5 - 6 = - 1	- 1 - 10 = - 11	-6	4	10
10		-11					
	4 -	-11	-11 + 10 = - 1	-6	4	10	
		- 1					
	5	- 1	- 1 + 9 = 8	-5	4	9	
		8					
15	6	8	8 - 5 = 3	3 - 9 = - 6	-5	4	9
		- 6					
	7	- 6	- 6 + 9 = 3	-5	4	9	
		2					
	8 -	3	3 - 9 = - 6	-5	4	9	
20		-7					
	9 -	- 6	- 6 - 5 = - 11	-11 + 9 = - 2	-5	4	9
		- 4					
	10	- 2	- 2 + 9 = 7	-4	4	8	
		7					
25	11	7	7 - 8 = - 1	-4	4	8	
		- 1					
	12	- 1	- 1 - 4 = - 5	- 5 + 8 = 3	-4	4	8
		3					
	13	3	3 - 8 = - 5	-4	4	8	
30		- 5					



TABLA I (continuación)

-3 ABR 1968

	Número de Ciclos de Recirculación	RR	R±E	$(R±E) \frac{1}{L+E_m}$	E _x	L	(L+E _m)
		5			-6	4	10
5	14	- 5	- 5	- 5 + 8 = 3	-4	4	8
		3					
	15 -	3	3 - 4 = - 1	- 1 - 8 = - 9	-4	4	8
		- 9					
	16 -	- 9	- 9	- 9 + 8 = - 1	-4	4	8
10		- 1					
	17	- 1	- 1	- 1 + 8 = 7	-3	4	7
		7					
	18	7	7 - 3 = 4	4 - 7 = - 3	-3	4	7
		- 3					
15	19	- 3	- 3	- 3 + 7 = 4	-3	4	7
		4					
	20	4	4	4 - 7 = - 3	-3	4	7
		- 3					
	21	- 3	- 3 - 3 = - 6	- 6 + 7 = 1	-3	4	7
20		1					
	22	1	1	1 - 7 = - 6	-3	4	7
		- 6					
	23	- 6	- 6	- 6 + 7 = 1	-3	4	7
		1					
25	24 -	1	1 - 3 = - 2	- 2 + 7 = - 9	-3	4	7
		- 9					
	25 -	- 9	- 9	- 9 + 7 = - 2	-3	4	7
		- 2					
	26	- 2	- 2	- 2 + 7 = 5	-2	4	6
30							



tercero y cuarto ciclos de recirculación señalan que se produzca una pulsación de mando para el movimiento de la pieza controlada a lo largo del eje X en dirección negativa.

5 Con la explicación que antecede respecto al funcionamiento a través del quinto ciclo de recirculación, puede comprenderse fácilmente el de los restantes ciclos.

10 Según se pone anteriormente de manifiesto, las pulsaciones o cálculos aplicados al computador bidireccional 81 a partir de los detectores de pulsaciones de interpolación son cálculos en disminución, y se aplican a través del paso de excitación funcional 85 sobre las líneas G, M y S en la proporción de 2,5, 1, y 0,75, que son los coeficientes de la Ecuación II.

15 Puede observarse que el grado en el cual se aplican las pulsaciones de mando al servo-sistema es proporcional al error existente entre la posición interpolada X_t y la posición ordenada X_o , así como la frecuencia de pulsaciones de grado de alimentación.

Por la Tabla I puede verse que las pulsaciones de mando serán iteradas en los ciclos de recirculación cuarto, noveno, décimo sexto y vigésimo quinto.

20 En este ejemplo $E_x = E_m$. Por lo tanto, en los otros ejes los interpoladores $E_m \neq E_y$ o E_z y las pulsaciones de mando serían iteradas con menos frecuencia, pero en un grado que depende de la magnitud de los errores de posición existentes.

25 Si bien el movimiento de las piezas controladas a lo largo de cada eje es sincronizado por la red reguladora de grado de alimentación y por ende las pulsaciones de grado de alimentación f_p , la velocidad de movimiento de una pieza controlada a lo largo de su eje con relación a las otras piezas a lo largo de sus ejes respectivos se determina por la magnitud de los errores de posición existentes.

30



Debe entenderse que en el ejemplo que antecede, para fines de discusión, se ha supuesto que el paso de error 94x se abre un término medio de cada tercer ciclo de recirculación. Sin embargo, el paso de error puede abrirse más frecuentemente o menos frecuentemente, según determine el regulador de grado de alimentación 80.

En el ejemplo anterior, supongamos que el error E_m es el error del eje X E_x , entonces el grado en el cual el eje X IPD itera las pulsaciones de mando es proporcional a

$$\frac{E_x}{E_m + L}$$

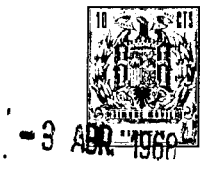
De forma similar, la producción de las pulsaciones de mando Y y Z es proporcional a

$$\frac{E_y}{E_m + L} \quad y \quad \frac{E_z}{E_m + L}$$

respectivamente.

Por tanto todos los grados de producción de pulsaciones de mando son proporcionales a la misma cantidad, $E_m + L$, o, dicho de otro modo, todos ellos pueden citarse como cantidades fraccionales que poseen el mismo denominador. Por consiguiente, los grados relativos de las piezas controladas son proporcionales a los errores de posición de ejes existentes. Por lo tanto, las velocidades de movimiento de las piezas controladas se sincronizan para definir el recorrido lineal deseado.

A medida que el error se aproxima a cero, el grado de alimentación de las piezas descenderá también de tal modo que el recorrido definido por el movimiento relativo de todas las piezas de la máquina herramienta terminará exactamente en el punto extremo ordenado. Esto puede demostrarse matemáticamente mediante consideración de la interpolación de ejes X. Este circuito de recir-



culación es, en esencia, un analizador diferencial digital.

En un analizador diferencial digital

$$f_o = f_a \frac{N}{C} \quad (V)$$

donde f_o = frecuencia excedente
(equivalente a producción pulsación mando)

5

f_a = grado de adición
(apertura de paso de error)

N = número añadido

luego $N = \frac{E_x}{x}$,

donde E_m es el mayor error,

10

$$C = L + E_m$$

donde L es el factor de adición constante en el adic-
cionador 100,

$$\text{luego } f_o = f_a \frac{E_x}{E_m + L} \quad (V)$$

15

Cerca del punto extremo, cuando el computador bidireccional 81 es-
tá saturado, el registro de memoria de iteración 87 abre los pasos
de error cada ciclo de recirculación, y el grado de aplicación de
pulsos de mando a los servo-sistemas depende únicamente de la can-
tidad

20

$$\frac{E}{E_m + L}$$

Cuando se alcanza el punto extremo o posición ordenada X_c , E_m se
aproxima a cero y f_o se aproxima a $0/L$. Así pues, no se producen
más pulsaciones de mando y las piezas controladas se detienen con
exactitud en el punto extremo ordenado.

25

El regulador de grado de alimentación junto con los
interpoladores comprenden un sistema de circuito cerrado en el
cual el computador bidireccional 81 actúa como comparador. Según
se muestra en la fig. 5, se aplican pulsaciones en aumento f_p al
computador 81, así como las pulsaciones de mando en disminución f_o .

30



La función K representa los pasos de iteración.

Inicialmente cuando se aplican pulsaciones f_p el cómputo en el computador 81 aumenta en un grado proporcional al grado de alimentación programado ya que el grado de alimentación puede ser modificado por el regulador de ajuste de grado de alimentación 66. Después cuando las piezas controladas comienzan su movimiento, se aplican pulsaciones de mando en disminución y se alcanza una condición de estado esencialmente permanente que proporciona un grado esencialmente constante de apertura de los pasos de error interpoladores. Como quiera que los errores de ejes disminuyen cuando las piezas controladas se aproximan a sus puntos extremos de mando producidos, el computador se satura numéricamente. Entonces el grado de pulsaciones de mando producidas depende únicamente de $L + E_m$ y el error para cada eje.

Ahora nos referimos a la fig. 7 que ilustra con mayor detalle el servo-sistema 33 para un eje, el eje X, juntamente con el registro de posición 51 y el registro de mando instantáneo 54. Esta disposición se halla acondicionada para suministrar una señal de posición interpolada. La señal X_i representa la posición ordenada instantánea de la pieza controlada.

El servo-sistema 33 comprende un computador bidireccional 104, un número al convertidor de frecuencia 105, un amplificador 106 y un generador primario 107. Un cómputo numérico en el computador bidireccional 104 es convertido a una frecuencia en el convertidor número-a-frecuencia 105. Esta frecuencia se aplica a un amplificador 106 que puede comprender un valor hidráulico que regula la corriente de fluido hidráulico a un motor hidráulico. Un servo-sistema respondiente a las pulsaciones de este tipo se describe en la solicitud asimismo pendiente No. 349.216, depositada



el 4 de marzo de 1964, a nombre de Johann F. Reuteler.

5 Cuando la pieza mecánica 22 es movida por el genera-
dor primario de ejes X 107, el cuantificador 47 genera pulsacio-
nes cada una de ellas indicativa de un movimiento progresivo un
10 grado de movimiento de la pieza 22. Estas pulsaciones o cómputos
se aplican al registro de posición 51 durante cada ciclo de re-
circulación mediante factores de adición en forma de adicionado-
res bidireccionales 108 que incluyen una fase excedente 109 que
añade estos cómputos a la posición real de la pieza 22. La posi-
15 ción real está expresada en forma binaria en el registro de po-
sición 51. El cuantificador 47 aplica también pulsaciones al com-
putador bidireccional 104 del servo-sistema 33. En la parte del
servo-sistema hasta aquí descrito, las pulsaciones de mando pro-
cedentes del eje X IPD 101x se aplican al computador bidireccio-
20 nal 104 del servo-sistema 33 sobre la línea 110 a través de un
multiplicador 111 que multiplica las pulsaciones de mando por un
factor de dos. Esta multiplicación puede o no incluirse según el
peso de cada pulsación procedente del cuantificador 47. La fun-
ción del multiplicador de pulsaciones 111 es igualar el peso de
25 las pulsaciones de mando con las pulsaciones cuantificadas. Las
pulsaciones de mando aumentarán o disminuirán el computador 104.
Las pulsaciones del cuantificador aumentarán o disminuirán el
computador de una manera opuesta con respecto a las pulsaciones
de mando y por ende proporcionará regeneración negativa. El nú-
30 mero resultante mantenido en el computador bidireccional 104 re-
presenta un error de velocidad, y el convertidor número-a-frecuen-
cia 105 genera un tren de pulsaciones con un grado de repetición
proporcional al error existente. Las pulsaciones de dicho tren
se aplican al amplificador 106.

El registro de mando instantáneo 54 se ilustra como



una parte de un registro de recirculación de décimo sexta posición. Se utilizan cinco posiciones para cada eje. Así, una vez cada ciclo de recirculación todos los números se encontrarán en su posición adecuada. Las pulsaciones de mando producidas a partir de cada detector de pulsaciones de interpolación de ejes se aplican a los adicionadores bidireccionales de una sola fase 112x, 112y y 112z. No obstante, solo la parte X del registro de mando instantáneo necesita ser comentada.

Al comienzo de un movimiento ordenado, el cómputo numérico de los cinco puntos del sector X del registro de mando instantáneo coincidirá con los cinco "bits" de menor significación del registro de posición 51. No obstante, a medida que las pulsaciones de mando son iteradas a partir del detector de pulsaciones de interpolación 101x para ordenar el movimiento progresivo para cada pulsación a través del servo-sistema, la pieza controlada no se moverá instantáneamente al producirse la pulsación de mando debido a las demoras inherentes del sistema, servo-sistema, respuesta y retardos inherentes a través del sistema. Por consiguiente, el registro de mando instantáneo se halla acondicionado para indicar la posición interpolada de la pieza o, alternativamente, la posición de la pieza si la respuesta total del sistema fue inmediata a cada pulsación de mando iterada.

Resultará evidente que un registro de mando instantáneo en forma de registro independiente con diez y seis fases podría disponerse para cada eje. Sin embargo, por fines económicos puede resultar conveniente que los tres ejes se repartan un registro de diez y seis fases cada uno utilizando cinco fases. En esta disposición, cada sección de eje del registro de mando instantáneo acumula un número indicativo de los cinco "bits" menos significativos de la posición de mando. A medida que se reciben



las pulsaciones de mando producidas procedentes del detector de pulsaciones de interpolación 101x se aplican a un adicionador bidireccional de una sola fase 109x el cual retiene un "bit". Los cálculos numéricos de las redes de interpolación poseen cada uno un valor de 0,0005". Entonces, cuando se reciben dos pulsaciones de mando iteradas se aplica un cálculo a la fase 113x del registro 104. Este cálculo posee entonces un peso de 0,001" y es consistente con el peso de cada cálculo del registro de posición 51. Tal cálculo puede añadirse cada ciclo de recirculación a la fase 110 que es un adicionador bidireccional. La fase 113x de la parte de ejes X del registro de mando instantáneo se halla acondicionada de tal modo que un cálculo X no será llevado a la parte Y del registro de mando instantáneo. Cada ciclo de recirculación el contenido de la parte X del registro de mando instantáneo 104 incluyendo cualquier cálculo que pueda recibirse del adicionador 109x se aplica al denominado "circuito unitario" 114, ejemplificado por medio de un conmutador 115. Durante cada ciclo de recirculación, los "bits" en las cinco fases del registro de mando instantáneo ocupadas por los datos de ejes X son aceptados por el circuito unitario 114. A partir de entonces, el conmutador 113 se mueve a su otro terminal y el contenido del registro de posición menos los cinco "bits" menos significativos se une al contenido del registro de mando instantáneo.

Asimismo, según se describe a continuación con mayor detalle, el contenido numérico del registro de posición se prueba para determinar si deben modificarse los "bits" más significativos. Por ejemplo, en ciertos casos los datos numéricos del registro de posición pueden poseer un valor numérico tal como 99,999 en tanto que el cálculo numérico en los cinco "bits" X del registro de mando instantáneo pueden totalizar un valor numérico de 23. Si los



datos de mando instantáneo sustituyeran entonces a los cinco "bits" menos significativos del registro de posición, se compondría el error entre la posición ordenada y la posición real. Por lo tanto, el circuito unitario contiene medios para cambiar el 99,999 a
5 100,023 que sería después la verdadera posición interpolada.

Resultará evidente que si el registro de posición contenía la suma numérica de 99,999 y el registro de mando instantáneo indicaba que los cinco "bits" menos significativos de la posición interpolada debían mostrar un valor numérico de 23, la verdadera posición interpolada sería 100,023. Por consiguiente, el
10 circuito unitario se halla acondicionado para registrar estas condiciones y modificar los "bits" más significativos del registro de posición a medida que se hacen pasar a través del circuito unitario a fin de indicar la verdadera posición interpolada.

En el ejemplo dado anteriormente, resultará evidente que el retardo de la posición real con respecto a la posición interpolada se halla representado por un cómputo numérico de de 24.

Para determinar este retardo, se dispone una red de retardo que comprende un substractor de retardo 116 el cual recibe el contenido del registro de mando instantáneo cada ciclo de recirculación así como los cinco "bits" menos significativos del registro de posición 51. El substractor de retardo 116 resta los cinco "bits" del registro de mando instantáneo 54 de los cinco "bits" menos significativos del registro de posición proporcionando un cómputo numérico que es indicativo del retardo de posición real de la pieza controlada 22 con respecto a la posición interpolada. Este cómputo de retardo se aplica a un registro de retardo 117 similar en construcción al registro de mando instantáneo 104 por el hecho de que se halla dividido por el número de retardo para cada eje. La salida del substractor de retardo 116 es un
20
25
30



número binario que posee cuatro "bits" numéricos y un "bit" de signos. Los cuatro "bits" numéricos se cambian al segundo por medio de fases quintas de un registro de retardo 117x y se añaden algebraicamente a la salida del substractor de retardo 116.

5 Unida a la primera fase del registro de retardo cada ciclo de recirculación, cuando está presente, se encuentra una pulsación de mando procedente del adicionador 112x que no ha sido graduada. Así, cuando el número de retardo se añade repetidamente a sí mismo cada ciclo de recirculación, puede existir una tendencia a producirse un exceso procedente de la fase de orden más alto 117a al final de cada ciclo de recirculación. La existencia de este "bit" excedente en la fase de retardo 117a produce una pulsación o cómputo en el servo-sistema sobre la línea 118.

10

Puede observarse que esta adición repetida de la señal de retardo X y la detección resultante de exceso y aplicación de la pulsación excedente potencial al computador bidireccional 104, en efecto, comprende una forma de analizador diferencial digito. Por lo tanto, el substractor de retardo, junto con el registro respectivo, proporciona una señal de retardo al servo-sistema proporcional al retardo efectivo de la pieza controlada 22 con respecto a la posición interpolada según denota el valor numérico de X_t . La repetición de la señal de retardo al servo-sistema será proporcional a la magnitud del retardo.

15

20

Este retardo es inherente al servo-sistema. En efecto la señal de retardo indica al servo que regule la velocidad de la pieza controlada de tal modo que sea proporcional al retardo. El retardo es una medida del error entre la posición ordenada instantánea y la posición real y por tanto es constante cuando lo es la velocidad de la pieza controlada. La red de retardo, incluido el registro de posición, comprende un circuito

25

30



de posición en el servo-sistema total y proporciona un retardo o señal de corrección de posición. Estas señales de corrección para cada eje ayudan a mantener la sincronización del movimiento de todas las piezas.

5 Se comprenderá que a medida que la pieza controlada se aproxima a su punto extremo y comienza a descender la velocidad de la misma, según se muestra en la Ecuación IV, el retardo efectivo del deslizamiento con respecto a la posición interpolada disminuirá en dirección a cero. Por tanto, el excedente del registro de retardo o el grado de excedente del registro de retardo disminuirá en dirección a cero. Por consiguiente, la red de retardo no suministrará ímpetu alguno indeseado en forma de pulsaciones de mando al servo-sistema. La señal procedente del registro de retardo $117x$ se denomina señal de retardo por el hecho de que regula el retardo efectivo de la pieza controlada con respecto a la posición interpolada y mantiene el retardo de posición real a lo largo de cada eje proporcional a la velocidad respectiva.

10 En interpolación circular, se mueven las piezas de la máquina definiendo el recorrido de un arco AR en dos ejes según se muestra en la fig. 2, y como se representa además en la fig. 9a entre los puntos P y C. Al comienzo de una operación de interpolación circular, el sistema mecánico conoce su propia posición P en virtud de las coordenadas en los registros de posición de ejes y las coordenadas parciales en los ICR. El punto ordenado C es alimentado a partir del dispositivo de lectura de cinta a la parte del circuito previamente descrito. Durante el funcionamiento, en interpolación circular, dos o más piezas se moverán a lo largo de dos ejes para definir el arco entre los puntos P y C.

15 A medida que se mueven las piezas a lo largo de sus ejes respectivos para definir el arco PC, la posición real y la



posición interpolada son registradas continuamente en los registros de posición y ICR's respectivamente, para los ejes individuales.

5 La información que se lee en el sistema a partir de la cinta durante la interpolación circular son las coordenadas de los puntos extremos que se leen en los registros de mando X e Y, y las coordenadas del punto central M que se leen en los registros Z y R de mando.

10 Con referencia a la fig. 8, puede observarse que vectorialmente

$$V = A + E \quad (VI)$$

Puede observarse además que

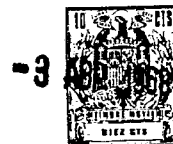
$$A = E^2/2h \quad (VII)$$

y para cada una o cualquier posición a lo largo del arco PC

15 $A_x = \pm E_y E/2h \quad (VIII)$

y $A_y = \pm E_x E/2h \quad (IX)$

20 Con referencia a las figs. 8b y 8c, se observará que a medida que se define el arco PC por el movimiento relativo de las piezas, el vector V disminuye, lo mismo que el vector A. Por consiguiente, el vector E, que es la cuerda instantánea entre la posición interpolada y la posición ordenada disminuye según la Ecuación del vector. Puede observarse además que a medida que el vector de error E disminuye correspondiendo a una disminución en la longitud del arco, aumenta la perpendicular respectiva a partir del centro M.
25 Esta relación lógica se utiliza para realizar la interpolación circular. En el sistema de interpolación circular se observará que la distancia más corta y más inmediata desde el punto P al punto C es a lo largo del vector de error E. El sistema generalmente opera sobre este error. No obstante, se utiliza información
30 adicional indicativa del arco interceptado por el declive de la



5 línea al punto de partida y la posición ordenada y el radio del arco para regular el movimiento a lo largo del arco PC. Esta información adicional que es facilitada por la cantidad $E/2h$ se sobrepone o añade algebraicamente a la inteligencia punto-a-punto y al movimiento a lo largo de un arco entre los puntos P y C que se hallan definidos por un radio y la cuerda E respectiva. Según se evidenciará másadelante, la cantidad $E/2h$ se halla representada por $E_x/2h_y$ o $E_y/2h_x$.

10 Una nueva consideración en cuánto al movimiento de recorrido en arco durante la interpolación circular es el cambio en velocidad de los vectores respectivos coordenados. Una referencia a la fig. 9 indicará este cambio. El vector de velocidad V en el punto P posee componentes coordenados V_x y V_y , donde V_y es sensiblemente mayor que V_x . A medida que el recorrido se define aún más al punto T_1 , que es sensiblemente cuarenta y cinco grados, los componentes coordenados V_x y V_y son sensiblemente iguales y continuando a lo largo del arco al punto T_2 el componente vector de velocidad V_x es ahora sensiblemente mayor que en vector de velocidad V_y .

15 La estructura y funcionamiento de la red de interpolación durante la interpolación circular y los acoplamientos respectivos se ejemplifican en forma de bloque en la fig. 10, donde iguales elementos a los representados en las figs. 6 y 7 llevan iguales números de identificación.

20 Durante la interpolación circular las coordenadas del punto central M del arco se introducen en los registros de mando Z y R, fig. 3. Estas son las coordenadas X e Y del punto M. Estas coordenadas se aplican a los substractores 120 y 121 junto con la información de posición interpolada X_t e Y_t , respectivamente.

25 En una operación de interpolación circular, los circuitos de recirculación 60x y 60y de los sistemas de interpolación



X e Y funcionan sensiblemente según se describe anteriormente, con la excepción de que en ocasiones el error de eje $X E_x$ se aplica al paso de error de eje Y 94_y y el error de eje Y E_y se aplica al paso de error de eje X 94_x en signos determinados por la dirección ordenada de rotación. Las redes de adición $95x$ y $95y$, ejemplificadas en la fig. 11, son asimismo operativas para actuar como substractores cuando se hallan condicionadas por una señal TG procedente del traslator 40 indicativa de la dirección, favorable o contraria al reloj, de movimiento.

La coordenada X del punto M se aplica a un substractor 120 y la posición interpolada X_t procedente del circuito unitario de ejes X se resta de la misma. De forma similar, la coordenada Y del punto M se aplica a un substractor 121 y la posición interpolada Y_t del circuito unitario Y se resta de la misma. Los valores absolutos de las substracciones resultantes R_x y R_y , indicadas por los bloques 122 y 123, respectivamente, se aplican a un comparador de magnitud 124 que determina la coordenada del radio-vector R desde el punto M a la posición interpolada P_1 (fig. 9) que posee la mayor magnitud. Esta información indica qué radio-vector es el mayor y, por lo tanto, puede verse refiriéndose a la fig. 9 que cuando la coordenada X del radio-vector es mayor que la coordena Y respectiva, la coordenada Y V_y del vector de velocidad V será mayor que la coordena X V_x correspondiente. En respuesta al comparador de magnitud 124 que registra el mayor de los dos valores R_y y R_x , el comparador de magnitud 124 aplica una señal al paso de excitación funcional 88. El paso de excitación funcional 88 recibe pulsaciones de mando procedentes de los detectores de pulsaciones de interpolación $101x$ y $101y$ y en respuesta a la señal procedente del comparador de magnitud 124 conectará las pulsaciones de mando producidas a las fases apropiadas del computador bidireccional 81 se-



gún se describe anteriormente.

Como ya se ha indicado, el regulador de grado de alimentación a través del registro de memoria de iteración 87 abrirá periódicamente los pasos de error 94x y 94y para introducir los errores de posición en los circuitos de recirculación 60x y 61y y producir la iteración de una pulsación de mando procedente de los detectores de pulsaciones de interpolación.

La relación de los vectores E y h (fig. 9) es tal que cuando $E_x > E_y$

10
$$2h_y = 2(M_y - T_y) - E_y \quad (X)$$

y cuando $V_y > V_x$

$$2h_x = 2(M_x - T_x) - E_x \quad (XI)$$

donde

$$M_y - T_y = R_y, \text{ y}$$

$$M_x - T_x = R_x$$

15 Así, la cantidad $2h_n$ puede determinarse a partir de la comparación de E_x y E_y . Se proporciona un dispositivo de paso o conmutación 125 que conecta las apropiadas de E_x , E_y , R_x y R_y al substractor 126. Si el comparador de magnitud 93 determina $E_x > E_y$, entonces se monta el conmutador 125 para satisfacer la Ecuación (X) en el substractor 126 y D ($2h$) indicada en el bloque 127 es igual a $2h_y$. Cuando $E_y > E_x$, se invierte la función conmutadora del paso 125 para satisfacer la Ecuación (XI) en el substractor 126.

25 Para determinar la cantidad $2h_n$, el menor de los componentes $2h$ el valor absoluto del mayor error coordinado E_m de error E se resta de la cantidad R_x o R_y en el substractor 126. La cantidad $2h_n$ representa el valor coordinado de $2h$ perpendicular a la mayor de las coordenadas E. El substractor 126 resta la coordinada E_m de dos veces el valor de la coordinada opuesta del radio-vector $\left[\begin{matrix} (M-T)_n \\ n \end{matrix} \right] = R_x$ o R_y . El resultado de esta substracción produce la cantidad $2h_n$, o 30 más específicamente, dos veces el valor coordinado de h_n que es per-



pendicular a la coordenada de error mayor E_m .

Se llama ahora la atención hacia un circuito de recirculación 130 que contiene un registro de residuo 131 que puede ser el registro de residuo de ejes Z. Una fase de cambio 132, un adicionador de una fase 133 y un substractor de una fase 134. El substractor 134 recibe como entrada el mayor E_m de los errores de ejes E_x o E_y procedente de uno de los substractores 92x o 92y a través del comparador de magnitud 93. El adicionador 133 recibe como entrada la magnitud absoluta de la cantidad $2h_n$ procedente del substractor 126. El número del registro de residuo 131 puede circular a través de la fase 132 cuando se cierra el conmutador 135 al terminal 136 que efectivamente pone en derivación el adicionador 133 y el substractor 134. El conmutador 135 es cerrado al terminal 137 por el registro de memoria de iteración 87 cuando se monta. Cuando se halla montado el registro de memoria de iteración 87, se restará E_m del número del registro de residuo 131 o se añadirá al mismo $2h_n$ según la regulación de un conmutador 138. El conmutador 138 se monta por un registro de memoria de signos 141, que registra el signo del número en el circuito 130. Cuando tal signo es positivo, el conmutador 138 está en el terminal 139 y permanece allí hasta que se resta E_m del número del circuito 130 un número suficiente de veces para hacer tal número negativo.

El registro de memoria de signos 141 registra el signo del número negativo en el circuito 130 y monta el conmutador 138 al terminal 140. Cuando el signo es positivo el conmutador 138 sitúa el adicionador 133 en el circuito 130. La condición del registro de memoria 141 (montado o reajustado) correspondiente a la señal del número en el circuito 130 hace funcionar una red de conmutación doble 142 que recibe los errores E_x y E_y y hace seguir estas señales a pasos de error apropiados, según se describe más



adelante.

Si el registro de memoria de signos 141 se halla montado para indicar un número positivo, la red 140 hace seguir E_x y E_y a los pasos de error 94x y 94y respectivamente. No obstante, cuando el registro de memoria de signos 139 se halla montado para indicar un número negativo, la red 140 hace seguir E_x al paso de error 94y y E_y al paso de error 94x.

Durante una función de interpolación lineal y durante una función de interpolación circular, donde la red 140 no conecta en cruz los errores, E_x y E_y se añaden algebraicamente a los circuitos 98x y 98y sumando los circuitos 95x y 95y respectivamente. No obstante, cuando la red 140 conecta en cruz los errores E_x y E_y a los pasos de error 94y y 94x, respectivamente, se añaden estos errores algebraicamente en uno de los circuitos 95x o 95y y se restan algebraicamente en el otro según la dirección de rotación. Así, si se añade E_y en el circuito 95x, se resta E_x en el circuito 95y. Los circuitos 95x y 95y son condicionados para tal función de adición o sustracción mediante una señal TG procedente del traslator 40, fig. 3, que deriva esta inteligencia de la cinta 37.

En el ejemplo representado en la fig. 9, el error E_x es siempre mayor que E_y . Por consiguiente, la ecuación satisfecha por el substractor 126 será

$$2h_y = 2 (M_y - T_y) - E_y$$

Puede verse que cuando E_x disminuye, aumenta h_y . Por lo tanto, a medida que disminuye el ángulo entre la posición de interpolación y el punto C según se muestra en la fig. 8c, el registro de memoria de signos 141 será montado predominantemente para indicar un número positivo en el circuito 130. Así E_x se añadirá al número del circuito 98x y E_y se añadirá al número del circuito 98y.



5 Con estas relaciones, resultará evidente que el grado de cambio de signo del número en el circuito 130 es proporcional a la posición relativa de la pieza controlada a lo largo del arco PC. Por ejemplo, si E_m y $2h_n$ son sensiblemente iguales el signo del número del circuito 130 cambiará casi cada ciclo de recirculación en el cual se produce una iteración. No obstante, si $2h_n$ es sensiblemente mayor que E_m , según se ejemplifica entre los puntos T_2 y C, se restará E_m cada ciclo de recirculación en el cual se produce una iteración hasta que el número se convierta en negativo. Entonces se
10 añadirá $2h_n$ y de nuevo se necesitarán muchas subtracciones de E_m para reducir el número del circuito 130 a un valor negativo.

15 Así la proporción del número de ciclos de recirculación consecutivos que el registro de memoria 139 se halla montado en un estado particular al número de ciclos de recirculación en el cual se produce una iteración si se halla montado en el otro estado representa los valores relativos de los componentes de h y E .

20 Con referencia a la fig. 8o, se observará que $2h_y$ es sensiblemente mayor que E_x en una proporción de aproximadamente trece a uno. Considerando que el número del circuito de recirculación 130 es aproximadamente cero y en el punto P_2 se añade la cantidad $2h_n$ en el adicionador 133, entonces el registro de memoria de signos 141 detectará este signo positivo del número del circuito 130 y montará el conmutador 138 al terminal 139. En esta ocasión serán necesarios aproximadamente trece ciclos de recirculación en
25 los cuales se produce iteración para que $-E_x$ disminuya el número en el registro de residuo 131 a un número negativo. Durante estos aproximadamente trece ciclos de recirculación, se añaden algebraicamente los errores E_x y E_y en las redes sumadoras 98x y 98y, respectivamente, del mismo modo que se haría si el sistema estuviera
30 funcionando bajo interpolación lineal. Sin embargo, cuando E_x ha



de onda cronométrica se derivan del oscilador cronométrico 64 que puede ser del tipo descrito en la solicitud asimismo pendiente de Johann Reuteler No. 349.216, depositada el 4 de Mayo de 1964. En algunos casos se utilizan otras señales repetidas, denominadas marcadoras.

5

La fig. 12 representa gráficamente la sincronización de las señales marcadoras con relación a los ciclos cronométricos. Cada señal marcadora posee una gran duración de un ciclo cronométrico. En la fig. 12 se ilustran los ciclos cronométricos únicamente por medio de cuatro de ellos. Estos pueden designarse MO a M15, cuando se utilicen diez y seis registros de posición. La señal marcadora MO comienza un cuarto de ciclo cronométrico antes que el ciclo cronométrico 0 y termina un cuarto de ciclo antes de la terminación del ciclo cronométrico 0.

10

15

Las señales marcadoras M1 y M1' comienzan un cuarto de ciclo antes y un cuarto de ciclo después de la iniciación del ciclo sincrónico uno, respectivamente, y terminan en la misma relación con respecto al ciclo dos. Del mismo modo, las señales marcadoras M2 y M2' poseen una duración de un ciclo cronométrico y comienzan un cuarto de ciclo cronométrico antes que el ciclo cronométrico 2 y un cuarto de ciclo cronométrico después que el ciclo cronométrico 2, respectivamente. Cualesquiera otras señales marcadoras M3 y M3' a M15 y M15', respectivamente, poseen las mismas relaciones con respecto a los ciclos cronométricos sucesivos. También pueden usarse señales marcadoras invertidas, designadas \bar{M} .

20

25

Los circuitos lógicos se componen generalmente del llamado sistema de circuitos lógicos NOR que utiliza elementos tales como transistores los cuales proporcionan una potencia de nivel "0" cuando existe una potencia de nivel "1", respectivamente de salida y entrada y proporcionan una salida de nivel "1" cuando existe un nivel

30



"0" o ninguna entrada. Tales circuitos NOR pueden usarse como pasos, invertidores o amplificadores según se muestra en la fig. 13a y pueden también conectarse transversalmente para formar multi-vibradores biestables o flip-flops según se representa en la fig. 14a, denominados aquí registros de memoria.

5 En los planos, los circuitos NOR de la fig. 13a se ilustran como se hallan representados en la fig. 13b. Los registros de memoria que muestra la fig. 14a se ilustran como se hallan representados en la fig. 14b. Las letras "S" y "R" designan los lados montado y reajustado de los registros de memoria.

10 El comparador de magnitud de error 93 se ilustra en la fig. 15. Los "bits" de cada error E_x , E_y y E_z se aplican menos "bit" significativo primero en magnitud absoluta a uno de tres canales, respectivamente, del comparador de magnitud de error. Teniendo el error el "bit" "1" de orden más alto, las relaciones de las magnitudes de los errores se determinan a partir del mismo. El comparador de magnitud de error 93 es modificado además durante la interpolación circular para incluir el comparador de magnitud de error 124. Los errores E_x , E_y y E_z se aplican a los pasos G1, G2 y G3, respectivamente. Un "bit" "1" se representa por un nivel bajo o entrada de señal 0 en el cronometro C2. En el cronometro C2, si los "bits" "1" de error se hallan presentes en todos los E_x , E_y y E_z , todos los pasos G1, G2 y G3 tendrán potencias de salida elevadas. Las salidas, si existen, de los pasos G1, G2 y G3 se aplican a los registros de memoria M1, M2 y M3, respectivamente, como señales reguladoras, en el cronometro C2 justamente después que tales registros de memoria han recibido una señal reguladora procedente de dicho cronometro C1. Una condición reajustada de cualquier registro

15

20

25

30



de memoria M1, M2 o M3 indica un dígito binario "1". Los pasos G4 y G5 reciben entradas procedentes de cada lado del registro de memoria M1, una pulsación cronometrada C4 y entradas procedentes del registro de memoria M2. Los pasos G6 y G7 reciben

5 entradas procedentes del registro de memoria M2, cronometrador C4 y registro de memoria M3. Los pasos G8 y G9 reciben entradas procedentes del registro de memoria M3, cronometrador C4 y también entradas procedentes de un registro de memoria M4. Durante la interpolación lineal, el registro de memoria M4 estará en la

10 misma condición que el registro de memoria M1. El registro de memoria M4 recibe entradas procedentes de un paso G10 que recibe como entradas el error E_x , cronometrador C2 y una señal LI procedente del dispositivo de lectura de cinta que es baja (cero) cuando se requiere la forma de operación de interpolación lineal.

15 Así, el error E_x en el cronometrador C2 puede reajustar el registro de memoria M4 que se halla montado en C1. Las salidas del registro de memoria M4 se conectan a los pasos G8 y G9. En este punto, puede verse que los pasos G4 y G5 iniciarán la comparación de las señales X e Y, los pasos G6 y G7 iniciarán la comparación de

20 las señales Y y Z y los pasos G8 y G9 iniciarán la comparación de las señales X y Z. Cada uno de los pasos G 4, G5; G6, G7; y G8, G9 aplican salidas a los lados opuestos de los registros de memoria M5, M6 y M7, respectivamente. Imaginemos que durante un determinado "bit" en el ciclo de comparación (recirculación), el

25 registro de memoria M1 ha sido reajustado en el cronometrador C2 a través del paso G1. Esto hará que la salida del lado derecho del registro de memoria M1 sea baja (cero). Si la salida del lado izquierdo del registro de memoria M2 es también baja en G4, el paso G5 reajustará la memoria M5. Esto indica que en tal ocasión particular en el ciclo de recirculación existía un "bit" "1" en el

30

-3 ABR 1968



error E_x y un "bit" "0" en el error Y.

5 Imaginemos que cuando se aplica el próximo "bit" de cada número a los pasos G1 y G2 que un "bit" "1" se hallara presente en E_y y no estuviera en E_x . El registro de memoria M1 no sería reajustado, pero sí el registro de memoria M2. Por lo tanto, en C4 todas las entradas en el paso G4 serían "0", el paso G4 tendría una salida "I" y el registro de memoria M5 estaría fijo. Esto indicaría en cuanto a la parte del número hasta aquí comparada que E_y era mayor que E_x . Una vez colocados en una condición montada o reajustada, el registro de memoria M5, así como
10 los registros de memoria M6 y M7, permanecerán en tal posición a menos que se produzca un cambio en los valores comparados de las señales de error a medida que progresa la comparación de errores "bit" por "bit".

15 Por consiguiente, puede observarse que con respecto a los errores E_x y E_y , el estado de M_5 indicará para cada "bit" comparado qué error es el mayor. Cuando una posición binaria de dos errores que se están comparando es la misma, no habrá cambio alguno en el estado previo del asociado de los registros de memoria M5, M6 o M7. Siguiendo la comparación de los "bits" más significativos de E_x y E_y , una señal marcadora \bar{M} abre los pasos
20 G12 - G 17 para copiar el contenido de los registros de memoria M5 - M7 en los registros de memoria M8 - M10, respectivamente. El resto de un ciclo de recirculación, los registros de memoria
25 M8 - M10 no se verán afectados, puesto que los pasos G12 - G17 son abiertos únicamente durante un ciclo cronométrico por medio de la señal marcadora \bar{M} . El estado de los registros de memoria M8, M9 y M10, que depende de su condición, indicará diversas inteligencias en cuanto al tamaño relativo de los errores E_x , E_y
30 y E_z indicados bajo los registros de memoria M8, M9 y M10. El



lado de los registros de memoria que posee la potencia de entrada más alta indica la magnitud relativa de los errores comparados. Así pues, si el registro de memoria M8 se halla montado, E_x es mayor que E_y .

5 Bajo ciertas condiciones, el recorrido definido podría ser de cuarenta y cinco grados a partir del centro del sistema de coordenadas. En tal caso, todos los errores de posición serían iguales y la red comparadora de magnitud 93 hasta aquí descrita no podría hacer distinción alguna entre ellos. Sin embargo, 10 conviene recordar que se requiere una relación de los tres errores para las entradas G, M y S al computador de regulación de grado de alimentación 81. Por consiguiente, se disponen medios en forma de pasos G18 y G19 que registran dicha igualdad. Si todas las entradas a los pasos G18 o G19 son cero, el paso G18 o G19 15 sobre la línea 150 montará los registros de memoria M7 y M10 para indicar que E_z y E_x no son iguales y $E_x > E_z$; y reajustará los registros de memoria M6 y M9 creando una indicación de desigualdad en la comparación de E_z y E_y .

 Como puede observarse, el comparador de magnitud 93 20 generalmente comprende tres circuitos simétricos. Durante la interpolación lineal, se requiere que los tres circuitos efectúen las tres comparaciones. Sin embargo, durante la interpolación circular, solo se necesitan dos de estas redes para comparar E_x 25 y E_y y los radio-vectores R_x y R_y . En la forma de interpolación circular, el paso G10 es inhabilitado por la señal LI y el paso G11 por la señal TG. Entonces se aplica el radio-vector R_y al paso G11. Simultáneamente, se aplica el radio-vector R_x sobre la entrada E_z al paso G3. Por lo tanto, R_x y R_y se comparan en el lado derecho de la red y E_x y E_y se comparan solamente en el 30 lado izquierdo de la red.



Quando se efectúa la comparación de magnitud y se determinan las magnitudes relativas de los errores, se hallan los errores mayor, medio y menor. A partir de la explicación de la fig. 13, está claro que cuando

5	M8 se halla montado	$E_x > E_y$
	M8 se ha reajustado	$E_y > E_x$
	M9 se halla montado	$E_y > E_z$
	M9 se ha reajustado	$E_z > E_y$
	M10 se halla montado	$E_z > E_x$
10	M10 se ha reajustado	$E_x > E_z$

Las líneas 151-156 trasladan la inteligencia de la comparación de magnitud de error a una red que determina los valores relativos de los errores. Las líneas 151-156 se aplican cada una a pasos de inversión (no representados) para invertir la señal correspondiente. Por ejemplo, si el registro de memoria M8 se halla montado para indicar que E_x es mayor que E_y , la señal de la línea 151 es alta. El paso de inversión asociado invierte ésta a una señal baja antes de aplicarla a la red de la fig. 16.

En la fig. 16, las líneas 151-156 contienen la inteligencia anotada respecto a la magnitud relativa de los errores. La señal de las líneas es baja cuando se halla presente la condición anotada. Esta red de determinación de errores 158 comprende tres secciones, 159, 160 y 161, estando cada una de ellas asociada con un eje. Las tres secciones son idénticas en construcción y los elementos respectivos contienen iguales números de identificación con apropiados sufijos de letras que los diferencian.

En la sección 159, que comprende una pluralidad de pasos de coincidencia e inversión, el paso G21x recibe entradas procedentes de las líneas 151 y 152. Cuando ambas líneas son bajas,



el paso G21x registra que el error E_x es mayor que E_y y E_z y el paso G21x posee una potencia de salida alta que es invertida por los pasos G22x y G23x. Contrariamente, el paso G24x recibe entradas procedentes de las líneas 153 y 155. Cuando estas dos líneas son bajas, el paso G24 registra que el error E_x es menor que E_y y E_z y posee una potencia de salida alta que es invertida por los pasos G25x y G26x. El paso G27x se halla dispuesto para registrar la condición cuando E_x no es el error mayor ni el menor. Cuando se registra tal condición, ello indica por supuesto que E_x es el error medio. Si el paso G27x registra que ni el paso G21x ni el G24x posee una potencia de salida de nivel alto a través de los pasos de inversión G23x y G26x, el paso G27x posee entonces una potencia de salida de nivel alto que indica que el error E_x es el error de menor importancia. La salida de nivel alto del paso G27x es invertida después en el paso G28x. La salida invertida de los pasos G21x, G27x y G24x se aplica como una señal de habilitación o deshabilitación a los pasos G29x G30x y G 31 x respectivamente. Si E_x es el mayor error, el paso G29x será abierto por el paso G22x. Si no, el paso G29x será deshabilitado. De modo similar, si E_x es el error medio, el paso G30x será abierto por el paso G28x. Si E_x es el menor error, el paso G31x será abierto por el paso G25x. Las pulsaciones de mando procedentes del eje X IPD 101x se aplican a todos los pasos G29x, G30x y G31x y tales pulsaciones serán pasadas a través del paso abierto de los mencionados. De la misma manera, las pulsaciones de mando procedentes del eje Y IPD 101y se aplican a los pasos G29y, G30y y G31y y las pulsaciones de mando del eje Z procedentes del IPD 101z se aplican a los pasos G29z, G30z y G31z.

Las salidas de los pasos G29x, G29y y G29z se agrupan según se indica por la letra de referencia G. Las salidas de los



pasos G30x, G30y y G30z se agrupan según se indica por la letra de referencia M y las salidas de los pasos G31x, G31y y G31z se agrupan según se indica por la referencia S. Estos grupos son llevados al paso de excitación funcional 88 descrito en la fig.17.

5 Durante la interpolación circular, el registro de memoria M8, fig. 15, selecciona directamente la posición del conmutador 125, fig. 10, para determinar cual de R_x y R_y se aplica al substractor 126. El registro de memoria M10, que compara R_y y R_x , determina directamente las conexiones de IPD_x y IPD_y a través del
10 paso de excitación funcional 88 al computador de grado de alimentación 81. Operando de este modo no se utiliza la red de la fig.16.

En el paso de excitación funcional 88, las líneas G procedentes de los pasos G29x, G29y y G29z se aplican a un paso de inversión G33. Cuando la salida del paso de inversión G33 es
15 baja en el marcador $\bar{M}1$ y en cronometroador C2, el paso G34 suministrará una pulsación en disminución a la fase 2^1 del computador de grado de alimentación 81. De forma similar, cada ciclo de recirculación en el marcador $\bar{M}2$ y cronometroador C2, el paso G35 suministrará una pulsación en disminución a la fase 2^{-1} del computador de grado de alimentación 81. Las líneas M procedentes de la
20 red de la fig. 17 se aplican al paso de inversión G36. Cuando la salida del paso G36 es baja en el cronometroador C4 y marcador $\bar{M}1'$ se aplica un cómputo en disminución sobre la línea M a la fase 2^0 del computador de grado de alimentación 81. Las entradas S se
25 aplican al paso de inversión G38 y la salida del paso G38 se aplica a los pasos de coincidencia G39 y G40 que se abren cada ciclo de recirculación en el marcador $\bar{M}3'$ y cronometroador C2 y marcador $\bar{M}3$ y cronometroador C4 para aplicar cómputos en disminución a las fases 2^{-2} y 2^{-1} del computador de grado de alimentación 81, respectivamente.
30



La fig. 18 ilustra la primera fase 113x del registro de mando instantáneo 54x. La fase 113x es efectiva para sumar o restar, y recibe una entrada en incremento sobre una línea 160, una entrada en disminución sobre una línea 161, y el contenido de recirculación RC de todo el registro sobre la línea 162. El contenido numérico de recirculación RC de todo el registro se aplica a través de un paso G42 para montar un registro de memoria M12. Las entradas en incremento se aplican al registro de memoria M13 y las entradas en disminución se aplican al registro de memoria M14. El registro de memoria M15 es efectivo para acumular un factor prestado. Los pasos G43, G44 son pasos de adición. Los pasos G45 y G46 son pasos de substracción. El paso G47 transmite un exceso de nuevo a la memoria M13. El paso G48 funciona para cambiar un factor prestado de la memoria M15 a la memoria M14. El registro de memoria M16 recibe un resultado procedente de los pasos de adición G43 y G44 y el registro de memoria M17 recibe un exceso, si se halla presente. Durante el funcionamiento, considerando que solo se apliquen pulsaciones en incremento a medida que se hace circular nuevamente todo el contenido de los tres registros de mando instantáneo, se aplican cálculos de pulsación sobre la línea 160 para fijar el registro de memoria M13. Esto se produce únicamente cada dos ciclos de recirculación en el ejemplo facilitado. Si en este momento se hace pasar un cálculo de recirculación a través del paso G42, se fija también el registro de memoria M12. Si ambos registros de memoria M12 y M13 se hallan montados en el siguiente cronometrador C4 el paso G44 fija el registro de memoria M17 para indicar la presencia de un exceso que muestra que dos "1" binarios han sido recibidos al mismo tiempo. Esto se producirá todo durante el segundo ciclo cronométrico de un ciclo de recirculación. Después el paso G47



fijará el registro de memoria M13 para indicar la existencia de un exceso. No obstante, durante el siguiente ciclo cronométrico, el paso G47 es cerrado por la señal marcadora M2, para evitar la nueva propagación de un exceso.

5 Si ambas memorias M12 y M13 se hallan montadas, el paso G44 fijará el registro de memoria M17 para indicar un exceso, según se describe anteriormente, y reajustará el registro de memoria M16. El registro de memoria M16 se monta cada ciclo cronométrico en C3 y puede reajustarse a través del paso G43 o G44.

10 Los registros de memoria M12 y M13 se reajustan en C1. Los registros de memoria M12 y M13 se reajustarán solamente cuando no existe "1" binario en ninguna de las líneas 160 o 162. El registro de memoria M16, cuando no se ha reajustado, indica un binario resultante "1" de la suma de un binario "0" y un binario "1". Si
15 debe montarse uno de los registros de memoria M12 o M13 y el otro no, ambos pasos G43 y G44 serán cerrados y el registro de memoria M16 será montado en C3 para indicar un "bit" "1" binario.

 El Resultado de cualquier adición inoluidos los números de recirculación aparece cada ciclo de recirculación en el registro
20 de memoria M18 que es fijado por uno de los pasos G45 o G46. El paso G45 fijará el registro de memoria M18 en el cronometrador C2 si se halla presente un dígito binario señalado por una condición de fijación de M16 y el registro de memoria M14 es reajustado indicando la falta de presencia de un factor prestado; o si el registro de memoria
25 M16 se halla reajustado y se fija el registro de memoria M14 indicando la presencia de un factor prestado.

 Se aplican pulsaciones en disminución para fijar el registro de memoria M14 sobre la línea 161. Si el registro de memoria M14 se halla montado y no hay ningún binario "1" resultante en el
30 registro de memoria M16, el paso G46 fijará el registro de memoria



ML8. Si el paso G46 debe fijar el registro de memoria M18, fijará también el registro de memoria de factores prestados M15 para indicar un factor prestado y éste será cambiado al paso G48 para fijar el registro de memoria M14 en el siguiente C4.
5 Las señales marcadoras M2 y M2' bloquean la propagación de los factores prestados y excesos más allá del final del número en el ICR.

En la forma anteriormente descrita, se aplican los cálculos de pulsación de mando procedentes de la sumadora 112x en cálculos de incremento o disminución al registro de mando instantáneo 113x para ser debidamente colocados en posición y añadidos a o restados del contenido de recirculación del registro. Así ICR 54x siempre contendrá un cómputo numérico parcial indicativo de la posición instantánea ordenada de la pieza controlada. El cómputo parcial es representativo de los primeros cinco "bits" menos significativos de la posición total.
10
15

En la fig. 19 se representa un detector de pulsaciones de interpolación (IPD) indicado por IPD 101x. Cada detector de pulsaciones de interpolación registra cuándo el signo del número de su circuito de recirculación asociado no cambia en dos introducciones consecutivas de la cantidad $L+E_m$ y en respuesta a detectar tal falta de cambio produce una pulsación de mando que se aplica al apropiado servo-sistema bien como pulsación de dirección negativa o como pulsación de dirección positiva. Asimismo, las salidas de los detectores de pulsaciones de interpolación se aplican como pulsaciones en disminución a través del paso de excitación funcional 88 al computador de regulación de grado de alimentación 81 según se muestra en las figs. 16 y 17. El número del circuito de recirculación 60x, incluido el registro de residuo 96x, se aplica al registro de memoria M20 cada ciclo
20
25
30



de recirculación posterior a la adición algebraica de $L+E_m$ al mismo. El cronometrador C1 fija el registro de memoria M20 que es reajustado por una pulsación alta indicativa de un signo negativo del número del circuito de recirculación. El signo

5 del número aparecerá, por ejemplo, en el marcador $M6'$. En este momento se abrirán los pasos G49 y G50 para introducir el signo del número en el registro de memoria M21. Cuando el registro de memoria M20 se ha reajustado, el paso G49 fijará el registro de memoria M21 para indicar que el signo del número

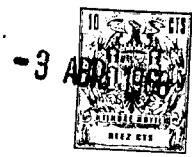
10 en el circuito de recirculación es negativo. Si el registro de memoria M20 no debe ser reajustado durante $\bar{M}6'$, el paso G50 fijará el registro de memoria M21 y, en esta condición, dicho registro de memoria M21 indicará que el signo del número en el

15 circuito de recirculación es positivo. El contenido del registro de memoria M21 es copiado en el registro de memoria M22 por los pasos G51 y G52 durante la señal marcadora $\bar{M}1'$. El estado del registro de memoria M22 seguirá el estado del registro de memoria M21. La salida del registro de memoria M22 se aplica a los pasos

20 G53 y G54 que también reciben la salida similar del registro de memoria M21. Los pasos G53 y G54 también reciben señales de habilitación en el cronometrador C4 durante la señal marcadora $\bar{M}12'$. Los pasos G51 y G52 se abren solamente una vez cada ciclo de recirculación para copiar el nuevo signo en el registro de memoria M22. Los pasos G53 y G54 comparan el signo del número procedente

25 de un ciclo de recirculación anterior con el nuevo signo del ciclo de recirculación siguiente a su recepción. Si debe producirse un cambio en el estado del registro de memoria M21, los pasos G53 y G54 no tendrán salida alguna. Si no existe cambio en el estado del registro de memoria M22, uno de los pasos G53 o G54 producirá

30 una salida de pulsación. Cualquier salida procedente de los pasos



G53 y G54 se aplica como pulsación en disminución independiente-
mente del signo al paso de excitación funcional 88.

Los pasos G53 y G54 detectan si no existe cambio al-
guno en el signo comparando la salida procedente de cada lado
5 del registro de memoria M21 con la salida de cada lado del re-
gistro de memoria M22 toda vez que el registro de memoria M21 se
actualiza a cada ciclo de recirculación.

Cualesquiera salidas de los pasos G53 y G54 se apli-
can como señales reguladoras a los registros de memoria M23 y M24
10 respectivamente. El registro de memoria M24 será montado si se de-
tectan números positivos consecutivos en el circuito de recircula-
ción. El registro de memoria M23 se fijará si se detectan números.
negativos consecutivos en el circuito de recirculación. Si se fija
el registro de memoria M23 o M24, en el siguiente cronometrador
15 G4, los pasos G55 y G56, respectivamente, producirán una pulsación
de mando, bien sea positiva o negativa, según la dirección ordena-
da de desplazamiento de la pieza controlada. Tales pulsaciones de
mando producidas podrán ser apropiadamente invertidas por los pa-
sos G57 y G58.

20 También pueden montarse los registros de memoria M23
y M24 para producir una pulsación de mando por pulsaciones exceden-
tes a partir del substractor de retardo 117x. El registro de memo-
ria M24 es montado por una pulsación de retardo positiva y el re-
gistro de memoria M23 es montado por una pulsación de retardo ne-
25 gativa.

Puede observarse que el verdadero detector de pulsacio-
nes de interpolación termina en el paso G53 y G54 y el resto del
circuito que comienza con los registros de memoria M23 y M24 pue-
de considerarse una parte del servo-sistema de ejes X.

30 Los registros de memoria M23 y M24 son reajustados por



5 señales marcadoras M7 y M12 en el cronometrador C2 durante cada ciclo de recirculación. Los registros de memoria M23 y M24 son montados para producir pulsaciones de mando por el paso G53 y G54 o señales de retardo más y menos. Los pasos G55 y G56 son abiertos por C4 durante las señales marcadoras $\bar{M}1'$, $\bar{M}4'$ y $\bar{M}11'$ para hacer pasar cualesquiera pulsaciones reguladoras aplicadas a los registros de memoria M23 y M24 por pulsaciones de interpolación o retardo. Los pasos G57 y G58 sirven como invertidores.

10 El circuito unitario se ilustrá esquemáticamente en la fig. 20. Se recordará que el circuito unitario aceptó los cinco "bits" del registro de mando instantáneo y luego unidos a estos cinco "bits", once "bits" procedentes del registro de posición para dar la posición ordenada instantánea de las piezas controladas. Se explicará la forma en la cual esto es llevado a cabo juntamente con la fig. 20. No obstante, debe considerarse primero un problema que puede plantearse al formar esta posición interpolada. Considerando que la pieza controlada se mueva en dirección positiva a lo largo del eje X, y sabiendo que existe un retardo en el sistema entre la posición ordenada instantánea y la posición real detectada por el substractor de retardo 116x, resultará evidente que la coordenada de la posición ordenada instantánea será mayor que la posición real expresada en el registro de posición. Por ejemplo, el registro de posición puede contener la coordenada en forma numérica como

25

000001111111111

mientras que el registro de mando instantáneo puede contener

00001

30

Puede observarse fácilmente que si se suprimieran los cinco "bits" menos significativos del registro de posición y se añadiera el contenido del registro de mando, se produciría como re-



sultado un error importante en la posición interpolada X_t . En el ejemplo facilitado puede verse que el registro de mando instantáneo se encuentra dos pulsaciones más adelante con respecto a la posición real, o dicho de otro modo, el retardo posee un valor de dos cómputos de pulsación. Asimismo, si la pieza controlada se moviera en dirección negativa con respecto al eje X, la posición coordinada de la posición de mando instantánea tendría un valor numérico menor que la posición coordinada expresada por el registro de posición. En tal situación, imaginemos de nuevo que la posición expresada por el registro de posición es

000010000000001

y el número del registro de mando instantáneo es

11111

Puede observarse que durante la dirección positiva de movimiento de la pieza controlada, los cinco "bits" en el registro de mando instantáneo serían normalmente mayores que los cinco "bits" menos significativos en el registro de posición. No obstante, en el ejemplo facilitado, la posición de mando instantánea, si bien es dos cómputos de pulsación mayor que la coordenada X en el registro de posición, no se refleja así en los cinco "bits" representados. De manera similar, en la dirección negativa de movimiento, los cinco "bits" del registro de mando instantáneo indican que la posición ordenada instantánea es mayor que la posición real mostrada por el registro de posición. Por consiguiente, en ambas situaciones expuestas se precisa una corrección y ésta se realiza en el circuito unitario sobre la base de inteligencia derivada del substractor de retardo 116. El substractor de retardo 116 se halla acondicionado para restar la posición ordenada instantánea denotada por el registro de mando instantáneo 54 a partir de los cinco "bits" menos significativos del registro de posición.



El resultado de tal substracción indicará si debe efectuarse una función de compensación en el circuito unitario.

5 Consideremos de nuevo el primer ejemplo que indica que debe efectuarse una corrección positiva respecto al contenido numérico del registro de posición cuando pase a través del circuito unitario.

Como quiera que los cinco "bits" del ICR se restan de los cinco "bits" menos significativos del registro de posición

10 000011111 11111 (Registro de posición)
00001 (ICR)
el resultado es 11110

No hay factores prestados, en el resultado, y la dirección del retardo es negativa.

15 La dirección de retardo es indicada por el "bit" del quinto lugar del número del registro de posición que está representado por una señal de nivel uno (1) o señal binaria uno. Por consiguiente, la falta de presencia de un factor prestado y la condición coincidente de la existencia de un retardo negativo indica que debe añadirse un binario "1" al "bit" 2^5 del registro de posición que pasa a través del circuito unitario.

20 En el otro ejemplo, supongamos que el registro de posición y el registro de mando instantáneo aparecen como sigue:

0000100000 00001 (Registro de posición)
11111 (ICR)
25 el resultado es 00010

30 Este resultado muestra un factor prestado en la quinta posición binaria y la quinta posición binaria del registro de posición en un nivel alto que indica un binario cero ("bit") y un retardo positivo. Estas dos condiciones tomadas conjuntamente indican que se precisa una corrección negativa en el "bit" 2^5 del número



del registro de posición.

Refiriéndonos ahora al circuito unitario de la fig. 20, el contenido del registro de mando instantáneo se aplica al paso G60 durante las señales marcadoras $\bar{M}1 - \bar{M}5'$ en el cronometrador C4. A partir de entonces la señal marcadora al paso G60

5 marcha alta y se cierra dicho paso G60. Durante el tiempo de las señales marcadoras invertidas $\bar{M}6'$ a $\bar{M}0'$, los once "bits" más significativos procedentes del registro de posición se aplican al paso G61. Estos "bits" cuando se unen entre sí comprenden

16 la posición interpolada o la posición ordenada instantánea total y se aplican como señales reguladoras al registro de memoria M26. El paso G62 a la señal marcadora $\bar{M}6'$, registra a partir del sub-

15 tractor de retardo 116 si ha resultado un factor prestado en el quinto "bit" y si el signo del retardo es positivo. Si tales condiciones existen, el paso G62 fija el registro de memoria M27 que

20 indica que un "bit" "1" debe restarse del "bit" 2^5 o, dicho de otro modo, el primer "bit" que entre en el paso G61. El paso G63 registra la condición coincidente a partir del subtractor de retardo

25 116 de ningún factor prestado en el quinto lugar y un signo de retardo negativo. Si tales condiciones son registradas en el marcador invertido $\bar{M}6'$ el paso G63 fijará el registro de memoria M28 para

30 indicar que debe añadirse un binario uno al "bit" 2^5 del registro de posición o, dicho de otro modo, el primer "bit" que entre en el paso G61. Los pasos G64 y G65 son pasos de adición y el paso G66 recibe un factor prestado o disminución procedente del registro de memoria M27 y lo pasa al registro de memoria M29. El registro de memoria M30 acumula el resultado de una adición y el registro de memoria M31 indica un exceso. El paso G67 hará pasar un exceso del registro de memoria M31 de nuevo al registro de memoria M28 para una nueva adición cuando el número coordinado es cambiado a través



del circuito unitario. Los pasos G68 y G69 son pasos de substracción y el paso G68 cambiará un factor prestado de nuevo para fijar el registro de memoria M27, si fuera necesario. El registro de memoria M32 es el registro de memoria de salida y cada vez que es
5 fijado por uno de los pasos G68 o G69 hace pasar un "bit" binario de la posición interpolada X_t al substractor 89x (fig. 6 o fig. 10).

La operación total del circuito unitario de la fig. 20 resultará obvia en vista de la descripción anterior del adiccionario ICR 112x previamente expuesta en la fig. 18.

En la fig. 21 se representan el substractor de retardo 116 y la manera en la cual se derivan las señales de signo de retardo y las señales de factor prestado y no factor prestado. El substractor de retardo 116 es generalmente un substractor binario
15 de fase completa de tipo corriente. Las entradas al substractor proceden del registro de memoria M18, fig. 18, del registro de mando instantáneo 113x y de un registro de memoria M34 en el registro de posición 51 que retiene el "bit" menos significativo del número binario que representa la posición coordinada del registro de posición al mismo tiempo que el registro de memoria M18 retiene el "bit"
20 menos significativo del mando instantáneo. Los números del registro de mando instantáneo y del registro de posición se aplican menos primer "bit" significativo y último signo numérico a los pasos G71 y G72 de tal modo que el número de mando instantáneo pueda restarse del número de posición. Los pasos G71 y G72 indicarán el resultado de esta substracción. El registro de memoria M35 acumula el resultado parcial de tal substracción y el registro de memoria M36
25 acumula un factor prestado, si se halla presente. El registro de memoria M37 retiene un factor prestado de un previo "bit", si se halla uno presente. Los pasos G73 y G74 son pasos de substracción
30



y el paso G75 es un paso de cambio. El resultado de esta substracción "bit" por "bit" aparece en el registro de memoria M38. Si se fija el registro de memoria M38 a la señal marcadora M6', esto indica que se halla presente un "bit" cero en la substracción resultante, el resultado aritmético es negativo, y el signo de retardo es positivo. Si el registro de memoria M38 es reajustado a la señal marcadora M6', esto indica que el resultado numérico de la substracción es positivo y el signo de retardo es negativo. El registro de memoria M39 posee el contenido del registro de memoria de factores prestados M36 copiado en el mismo e indicará la presencia o falta de presencia de un factor prestado. El paso G76 en el cronometroador C4 copiará un factor prestado del registro de memoria M39 de nuevo al registro de memoria M37. El paso G76 también recibe una señal marcadora M1' que evitará la nueva propagación de un factor prestado. De esta manera, las indicaciones de retardo positivo y negativo y las señales de factor prestado y factor no prestado se derivan para aplicación a los pasos G62 y G63 del circuito unitario, fig. 20.

Puede verse por tanto que los objetos del invento expuestos anteriormente, así como aquellos que resultan evidentes por la descripción que antecede, son logrados de manera eficaz. Si bien se han expuesto formas de realización preferidas del invento para fines de descripción, otras estructuras así como modificaciones de las descritas pueden evidenciarse a los expertos en la materia. Por consiguiente, se pretende que las reivindicaciones anexas cubran todas las formas de realización del invento que no se aparten del espíritu y fines respectivos.

En resumen, la Patente de Invención que se solicita deberá recaer sobre las siguientes:



REIVINDICACIONES

1. Un sistema numérico de regulación para mover una pluralidad de piezas a lo largo de ejes asociados, caracterizado porque comprende medios que proporcionan representaciones eléctricas de las posiciones reales de las piezas, medios que proporcionan representaciones eléctricas de las posiciones establecidas, medios que responden a las representaciones correspondientes a cada pieza destinados a proporcionar una representación del error de posición existente entremedias, medios para detectar el mayor error de posición, y medios respondientes a cada error de posición y al mayor error de posición para generar frecuencias de pulsación correspondientes a cada error de posición y al mayor error de posición.

2. El sistema de la reivindicación 1 en el que dichas frecuencias de pulsación guardan la relación correspondiente a la razón de cada error de posición respecto al mayor error de posición.

3. El sistema de la reivindicación 1 que incluye además un circuito de recirculación para cada eje, contentivo de un número, medios para añadir dicho error mayor de posición a cada uno de los indicados circuitos durante cada recirculación correspondiente en un signo opuesto al signo del número existente en dicho circuito, medios para añadir el error de posición relativo a cada eje a su circuito asociado, y medios respondientes a dicho error máximo de posición que se añade al número de cada circuito, con el mismo signo, durante las recirculaciones consecutivas, para generar una pulsación de mando.

4. El sistema de la reivindicación 3 que comprende además medios para generar una frecuencia de pulsación proporcional a un grado de alimentación programado, medios para acumular las pulsaciones de dicha frecuencia, medios para disminuir dicha acumulación con dichas pulsaciones de mando en pesos previamente determinados,



y medios respondientes a la magnitud de la acumulación resultante para regular la adición de los errores de posición a sus circuitos asociados.

5 5. El sistema de la reivindicación 4 en el que el número de piezas que se trata de mover es de tres y las citadas pulsaciones de mando hacen descender la acumulación en una proporción de 2,5:1,0:0,75 en el mismo orden de magnitudes de los errores de posición para los ejes respectivos:

10 6. El sistema de la reivindicación 4 en el que el número de piezas que se trata de mover es de dos y en el que dichas pulsaciones de mando hacen descender la acumulación en una proporción de 2,5:1 en el mismo orden de magnitudes de los errores de posición para los ejes respectivos.

15 7. Un sistema numérico de regulación adaptado para mover una pluralidad de piezas, cada una de ellas a lo largo de un eje de referencia entre puntos existentes y puntos terminales establecidos, que comprende medios para determinar el error de posición de cada pieza entre su posición existente y su posición final, medios para determinar el máximo error de posición, y medios para mover cada pieza
20 a una velocidad determinada por su error de posición y por el error máximo de posición.

8. El sistema de la reivindicación 7, en el que la velocidad de movimiento de cada pieza es proporcional a

25
$$\frac{E_n}{L + E_m}$$

donde E_n es el error de posición de cada pieza, E_m es el mayor error de posición, y L es una constante.

9. El sistema de la reivindicación 8 que comprende además medios para detectar el máximo error de posición.

30 10. El sistema de la reivindicación 9 que comprende ade-



más medios para añadir el máximo error de posición E_m a la constante L para proporcionar la cantidad $L + E_m$.

5 11. El sistema de la reivindicación 9 que comprende además un registro de recirculación para cada eje contentivo de un número, medios para añadir la cantidad $L + E_m$ al número de cada circuito en cada recirculación del mismo, con signo opuesto al signo del número del circuito, medios para añadir cada error de posición al número de su circuito asociado durante recirculaciones seleccionadas, y medios para detectar cuándo no cambia de signo el número correspondiente a dicho circuito en recirculaciones del mismo consecutivas.

10

12. El sistema de la reivindicación 11 que comprende además medios respondientes a los indicados medios de detección de cada circuito para producir señales en forma de pulsaciones en respuesta a la detección de que no ha habido cambio de signo en los números de dichos circuitos, de modo que se produce una pluralidad de trenes de pulsaciones, cada uno de los cuales tiene una frecuencia proporcional a la magnitud de un error de posición.

15

13. El sistema de la reivindicación 12 que comprende una pluralidad de medios motores respondientes a las pulsaciones, destinados a mover cada una de las indicadas piezas a lo largo de su eje de referencia, y medios para aplicar cada uno de dichos trenes de pulsaciones a uno de dichos medios motores.

20

14. El sistema de la reivindicación 9 que comprende además un registro de recirculación para cada eje contentivo de un número, medios para añadir la cantidad $L + E_m$ al número correspondiente a cada circuito, en cada recirculación del mismo, con signo opuesto al signo del número del circuito, medios para añadir cada error de posición al número de su circuito asociado durante recirculaciones seleccionadas, y medios para detectar cuándo se añade el número $L + E_m$ en dicho circuito con el mismo signo en recirculaciones consecutivas.

25

30



- 3 ABR 1968

5 15. Un sistema numérico de regulación para mover una pluralidad de piezas controladas, cada una de ellas a lo largo de un eje previamente determinado, a velocidades relativas previamente determinadas entre puntos existentes y puntos terminales establecidos, a fin de definir un recorrido resultante deseado, dispositivos respondientes a pulsaciones para mover cada una de dichas piezas a lo largo de su eje, a una velocidad proporcional al número de pulsaciones de mando por ellos recibidas en una unidad de tiempo dada, medios de interpolación para cada pieza, destinados a determinar el error entre su posición y su posición terminal establecida, y para producir pulsaciones de mando en un régimen proporcional a tales errores de posición, medios que proporcionan un tren de pulsaciones de alimentación que presentan un grado de repetición predeterminado, medios para acumular un cómputo de tales pulsaciones de alimentación, siendo dichos medios acumuladores respondientes a las pulsaciones de mando para disminuir el cómputo en los citados medios acumuladores en un peso numérico previamente determinado por la relación de magnitudes de las velocidades de las piezas a lo largo de sus ejes respectivos, y medios respondientes a la magnitud del cómputo en el indicado medio de acumulación para permitir que dichos medios de interpolación produzcan pulsaciones de mando.

25 16. El sistema de la reivindicación 15 que comprende además un circuito de recirculación para cada eje, contentivo de un primer número, medios para añadir a dicho número un segundo número que es la suma de una constante y el máximo error de posición durante cada recirculación en un signo opuesto al del primer número, dispositivos de paso eléctrico, que, abiertos, son efectivos en el sentido de añadir el error de posición relativo a dicho eje en el circuito de recirculación, añadiéndose medios respondientes a dicho segundo número en el indicado circuito, con el mismo signo, durante

30



consecutivas recirculaciones para producir una pulsación de mando, permitiendo dichos medios acumuladores que opere el citado paso a razón de un régimen predeterminado por la magnitud del número existente en los indicados medios de acumulación.

5 17. Un sistema numérico de regulación para mover una pluralidad de piezas, cada una de ellas a lo largo de un eje de referencia, un dispositivo motor adaptado para mover cada pieza a una velocidad proporcional a la frecuencia de las pulsaciones de mando aplicadas, y a una distancia proporcional al número de pulsaciones
10 suministradas correspondientes, un registro de posición que responde a cada uno de dichos dispositivos motores para almacenar la coordenada real de su pieza asociada a lo largo de su eje de referencia, un registro de mando instantáneo para cada parte, destinado a almacenar la coordenada instantáneamente establecida de la pieza, medios
15 para determinar la diferencia entre la coordenada establecida y la coordenada real, y medios para aplicar pulsaciones a dichos dispositivos motores a una frecuencia proporcional a dicha diferencia.

18. El sistema regulador de la reivindicación 17 en el que dichos medios determinadores comprenden un substractor para sustraer dicha posición instantánea establecida y dicha posición real, medios de registro para almacenar el resultado de dicha sustracción
20 y añadir a él subsiguientes sustracciones, y medios respondientes al exceso en los indicados medios de registro para aplicar pulsaciones de mando a los referidos dispositivos motores.

25 19. Un sistema numérico de regulación para mover una pluralidad de piezas reguladas, cada una de ellas con respecto a un eje asociado, una pluralidad de servo-sistemas respondientes a pulsaciones, medios para generar una pluralidad de frecuencias de pulsación y para aplicar cada frecuencia de pulsación a uno de dichos
30 servo-sistemas a fin de efectuar el movimiento de las piezas regu-



ladas, siendo cada una de tales pulsaciones representativa de una
unidad accionada de movimiento, un dispositivo cuantificador asociado
a cada pieza regulada y respondiente a su movimiento para establecer
una representación de la posición real instantánea de cada pieza a lo
5 largo de un eje, un dispositivo respondiente a cada frecuencia de pul-
sación para establecer una representación de la posición instantánea
establecida de cada pieza, y un dispositivo para combinar una parte
de la posición instantánea establecida con una parte de la posición
instantánea real.

10 20. El sistema de la reivindicación 19 que comprende
además medios respondientes a la diferencia entre dichas posiciones
reales instantáneas, y establecidas, para efectuar representaciones de
los retardos entre estas posiciones.

15 21. El sistema de la reivindicación 20 que comprende ade-
más medios de registro para almacenar dicha representación y añadir a
la misma subsiguientes representaciones.

20 22. El sistema de la reivindicación 21 que comprende ade-
más medios respondientes al exceso de cada uno de los indicados medios
de registro, para aplicar señales en forma de pulsaciones, representa-
tivas de dichos retardos, a los servo-sistemas asociados.

25 23. Un sistema para mover dos piezas a lo largo de ejes
coordenados, a velocidades relativas, entre puntos existentes y puntos
terminales establecidos, de modo que definan un arco en torno a un
punto central dado, medios para mover tales piezas en dicho sistema
de ejes coordenados, conforme a las ecuaciones

$$A_x = \pm E_y \frac{E}{2h}, \text{ y}$$
$$A_y = \pm E_x \frac{E}{2h}$$

30 donde E es la cuerda entre el punto de coordenada existente, de las pie-
zas y el punto terminal establecido, h es la perpendicular a la cuerda
trazada desde dicho punto central a A_x y A_y en las proyecciones coordena



das de la perpendicular a la cuerda en el punto terminal, trazadas contra la tangente al arco en el punto existente, y E_x y E_y son las proyecciones coordenadas de la cuerda E.

5 24. Un sistema numérico de regulación que comprende un dispositivo motor respondiente a pulsaciones para mover dos piezas, cada una de ellas a lo largo de un eje coordinado para definir un arco resultante entre un punto existente y un punto terminal establecido, en torno a un punto central dado, medios para almacenar las coordenadas del punto terminal con respecto a
10 cada eje, medios para almacenar las coordenadas del punto existente con respecto a cada eje, medios para determinar el error de posición entre las coordenadas existentes y las coordenadas del punto terminal para cada eje, medios para determinar el máximo error de posición, un circuito de recirculación para cada eje,
15 con medios para almacenar en él un número, medios para añadir dicho error máximo más una constante a cada circuito durante cada una de las recirculaciones con un signo opuesto al signo del número existente en el circuito, medios para aplicar el error de posición correspondiente a cada eje a uno de dichos circuitos para
20 efectuar la adición al número allí existente o la sustracción del mismo, conforme al declive en la dirección del movimiento del recorrido resultante y su dirección en el sentido horario, y medios respondientes a dicho error máximo, añadiéndose una constante a los citados circuitos de recirculación, con signo igual, durante
25 ciclos de recirculación consecutivos para producir pulsaciones destinadas a los referidos dispositivos motores.

30 25. Un sistema numérico de regulación que comprende dispositivos motores respondientes a pulsaciones para mover dos piezas, cada una de ellas a lo largo de un eje coordinado a fin de definir un arco resultante entre un punto existente y un punto ter-



5 minal establecido en torno a un punto central dado, medios para almacenar las coordenadas del punto terminal con respecto a cada eje, medios para almacenar las coordenadas del punto existente con respecto a cada eje, medios para determinar el error de posición entre las coordenadas existentes y las coordenadas del punto terminal para cada eje, medios para determinar el máximo error de posición, disponiendo un circuito de recirculación correspondiente a cada eje de medios para almacenar en él un número, medios para añadir el citado error máximo más una constante a cada circuito durante cada recirculación, con un signo opuesto al signo que corresponde al número existente en el circuito, medios que responden a dicho error máximo más una constante, añadidos a los citados circuitos de recirculación con igual signo durante ciclos de recirculación consecutivos para producir pulsaciones destinadas a los indicados dispositivos motores, medios para determinar la mayor coordenada del error absoluto de posición, medios para determinar la menor coordenada de una línea perpendicular al error absoluto de posición desde el punto central, medios para comparar las indicadas coordenadas mayor y menor, medios respondientes al resultado de dicha comparación para seleccionar la aplicación de dichos errores de posición respecto a los indicados circuitos de recirculación y la forma aritmética de aplicación de los errores de posición a los referidos circuitos.

25 26. El sistema de la reivindicación 25 que comprende otro circuito de recirculación, medios para añadir dicha coordenada mayor al nuevo circuito citado en un sentido negativo, medios para añadir la citada coordenada menor a dicho nuevo circuito en un sentido positivo, y medios que responden al signo del número existente en el referido nuevo circuito para seleccionar la aplicación de dichos errores de posición respecto a dichos circuitos de recircu-

30



lación.

5 27. El sistema de la reivindicación 26 en el que dichos medios respondientes, al detectar un signo positivo en los nuevos circuitos referidos ocasionan la aplicación de dichos errores de posición a sus circuitos asociados para establecer en ellos una adición algebraica.

10 28. El sistema de la reivindicación 26 en el que los citados medios respondientes, al ser detectado un signo negativo en dicho nuevo circuito ocasiona la aplicación de dichos errores de posición a los circuitos opuestos, añadiéndose un error de posición, algebraicamente, y sustrayéndose el otro error de posición.

15 29. Se reivindica por último, como objeto sobre el que ha de recaer la Patente de Invención que se solicita: "UN SISTEMA NUMERICO DE REGULACION PARA MOVER UNA PLURALIDAD DE PIEZAS A LO LARGO DE EJES ASOCIADOS".

Todo tal y conforme queda descrito en la presente memoria descriptiva, que consta de sesenta y ocho páginas mecanografiadas y dibujos que se acompañan.

20

Madrid, 3 de Abril de 1968
BERNARDO UNGRIA

P.P.

A handwritten signature in dark ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the bottom, positioned below the typed name 'BERNARDO UNGRIA'.



Fig. 1

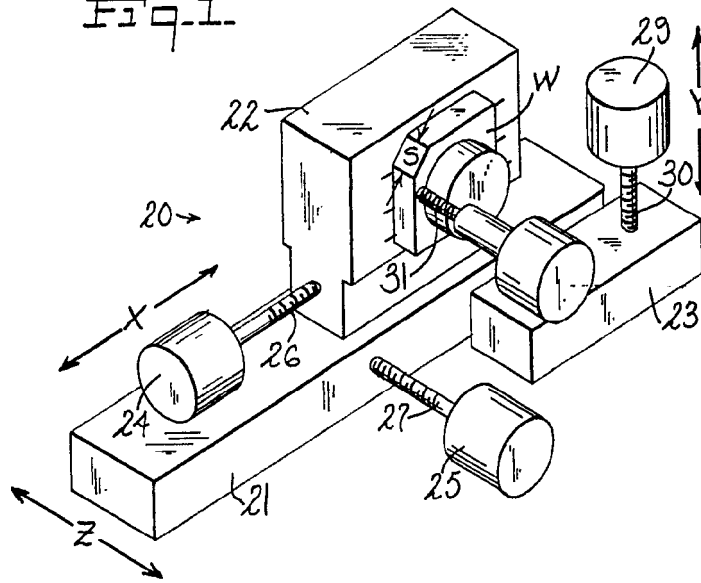
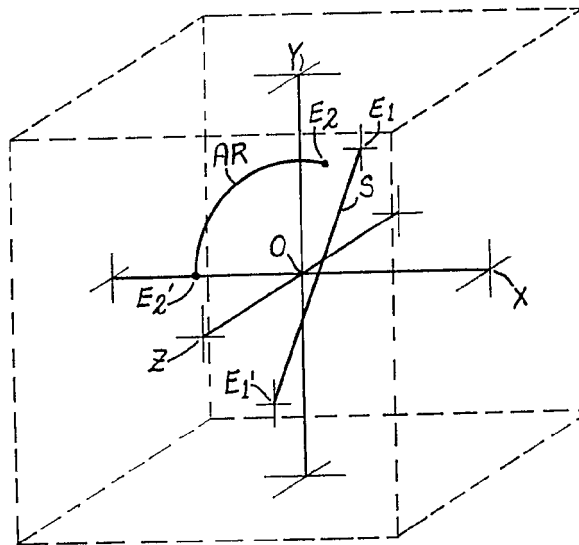
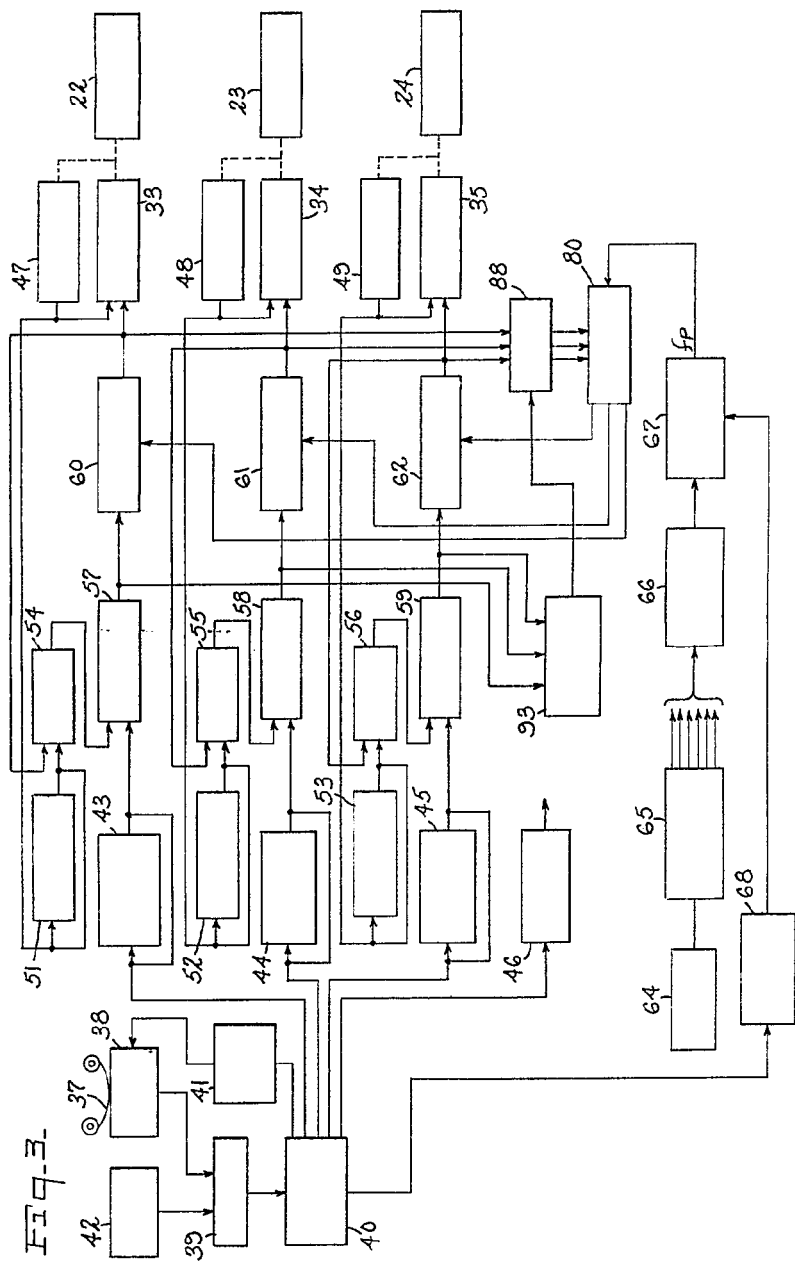


Fig. 2



ESCALA VARIABLE
DIBUJADO, 3 DE Abril 1968
INGENIERO EN JEFE



ESCALA VARIABLE
 MEDIO 3 DE ABRIL DE 19 68
 REA. UNGRIA

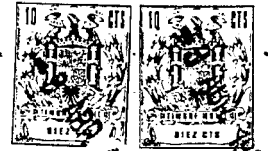
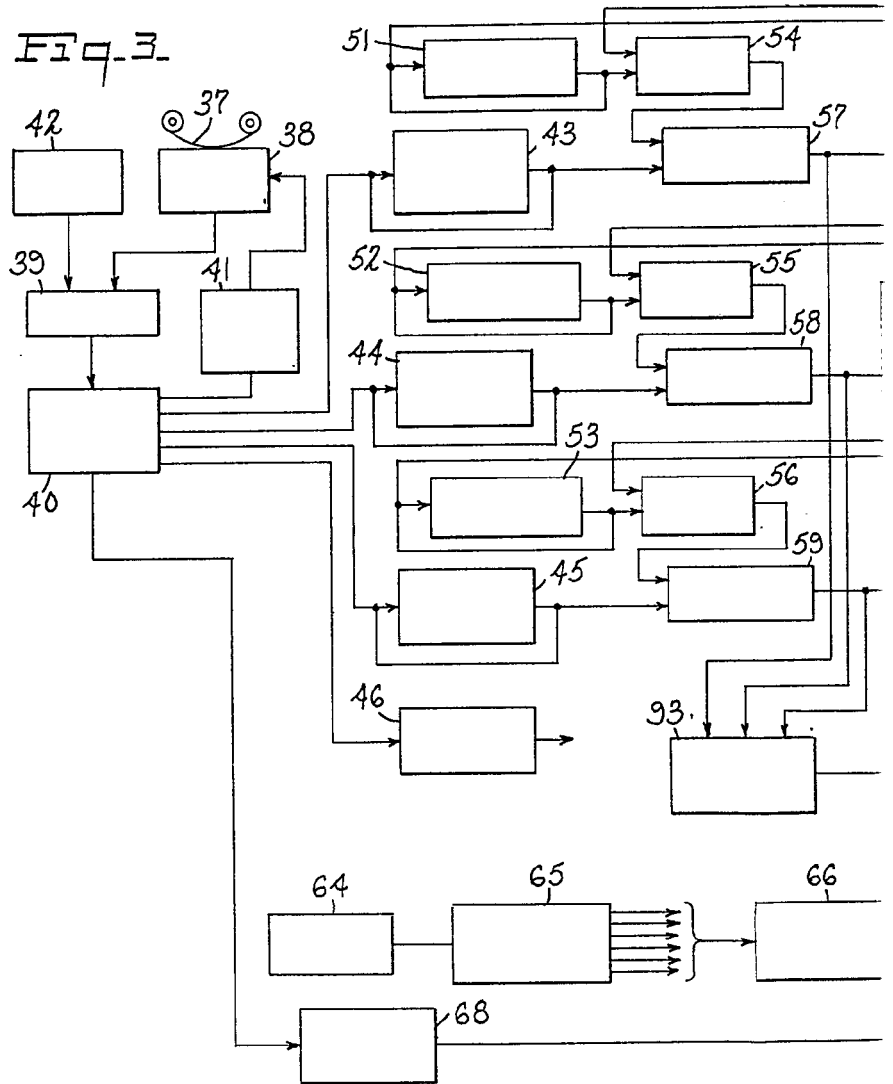
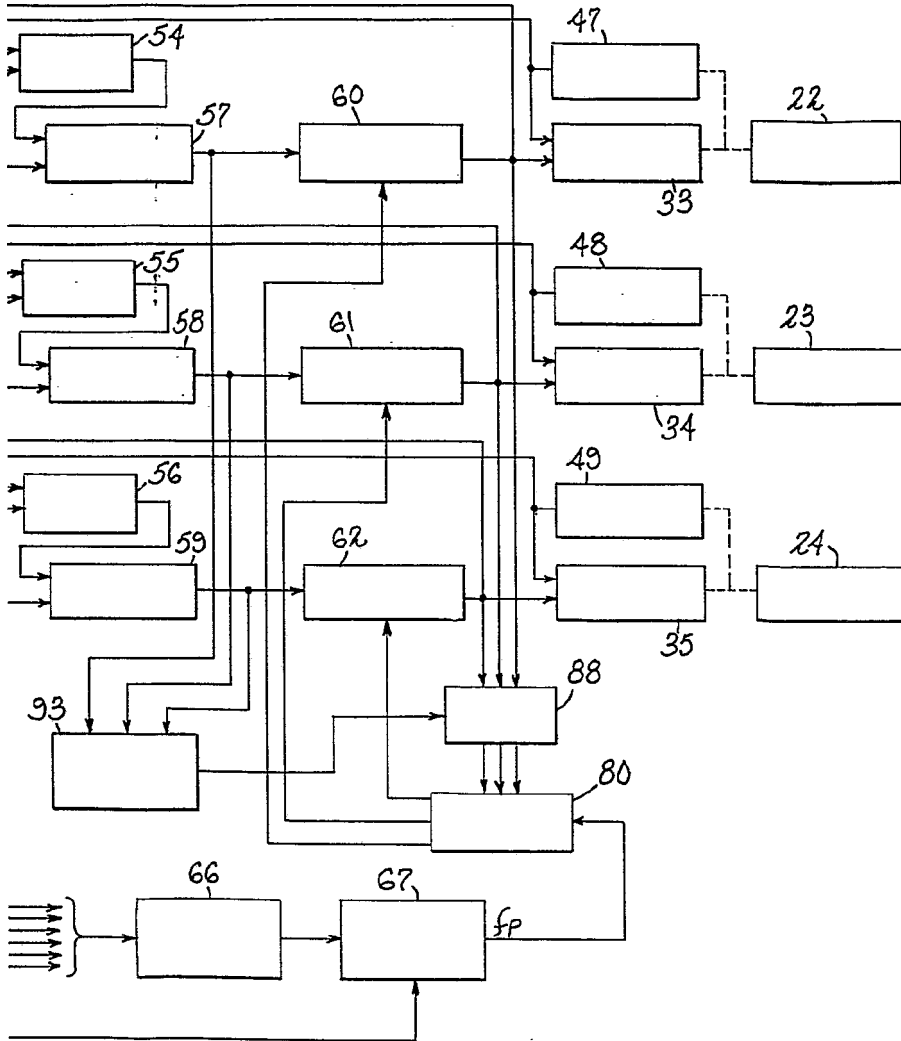


FIG. 3.





ESCALA VARIABLE
MADRID, 3 DE Abril DE 1968
BERNARDO UNGRÍA



Fig. 4.

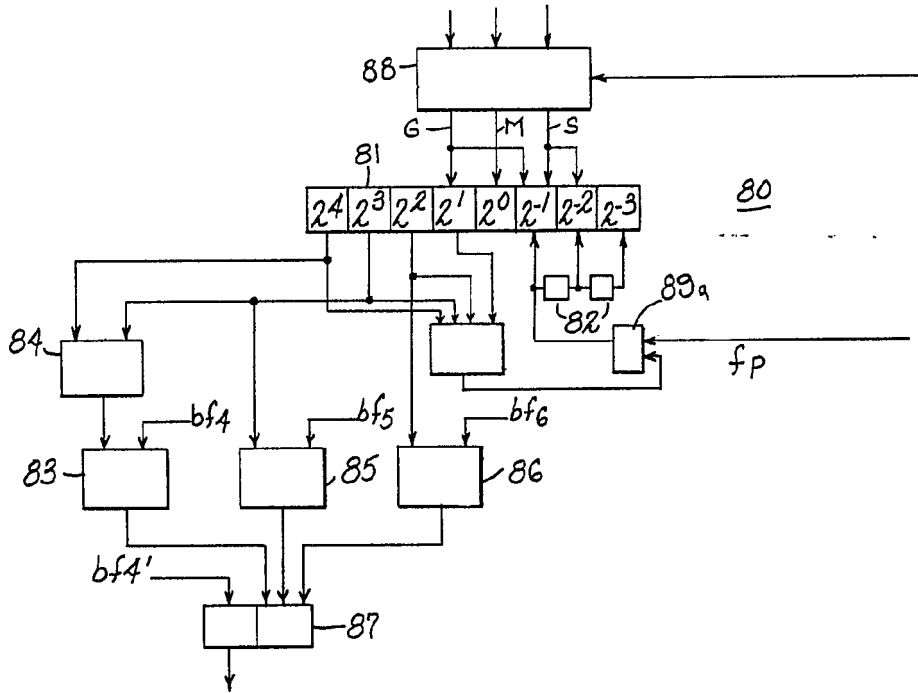
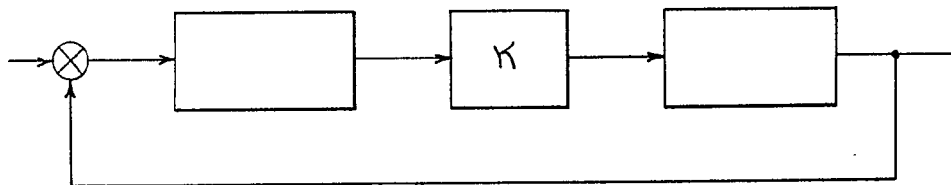
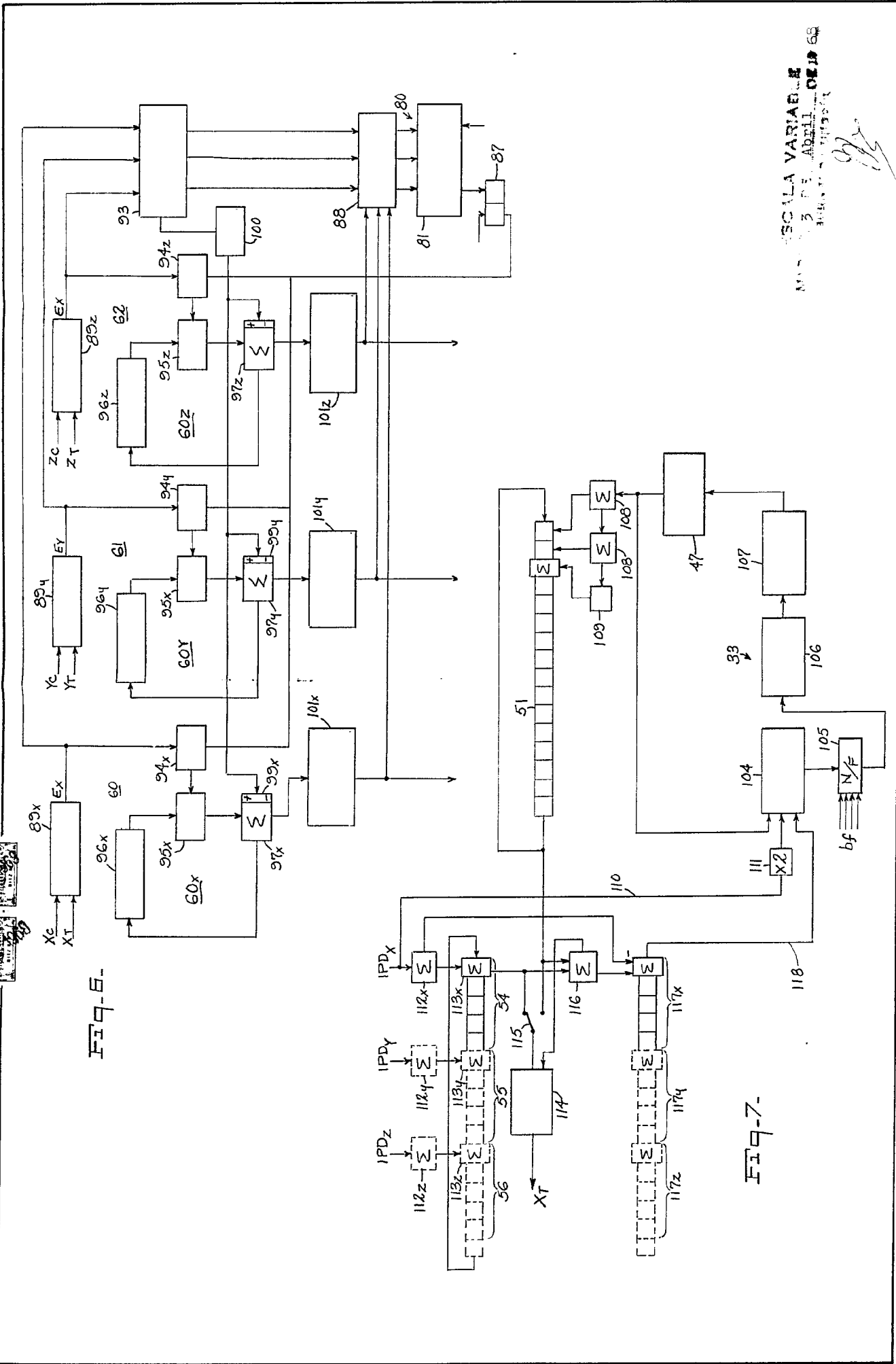


Fig. 5.



ESCALA VARIABLE
 MADRID, 3 DE Abril DE 1968
 BERNARDO UNGRIA
 P. R.



ESCALA VARIABLE
 3 DE ABRIL DE 1968
 115

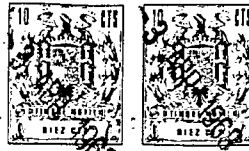


FIG. 6.

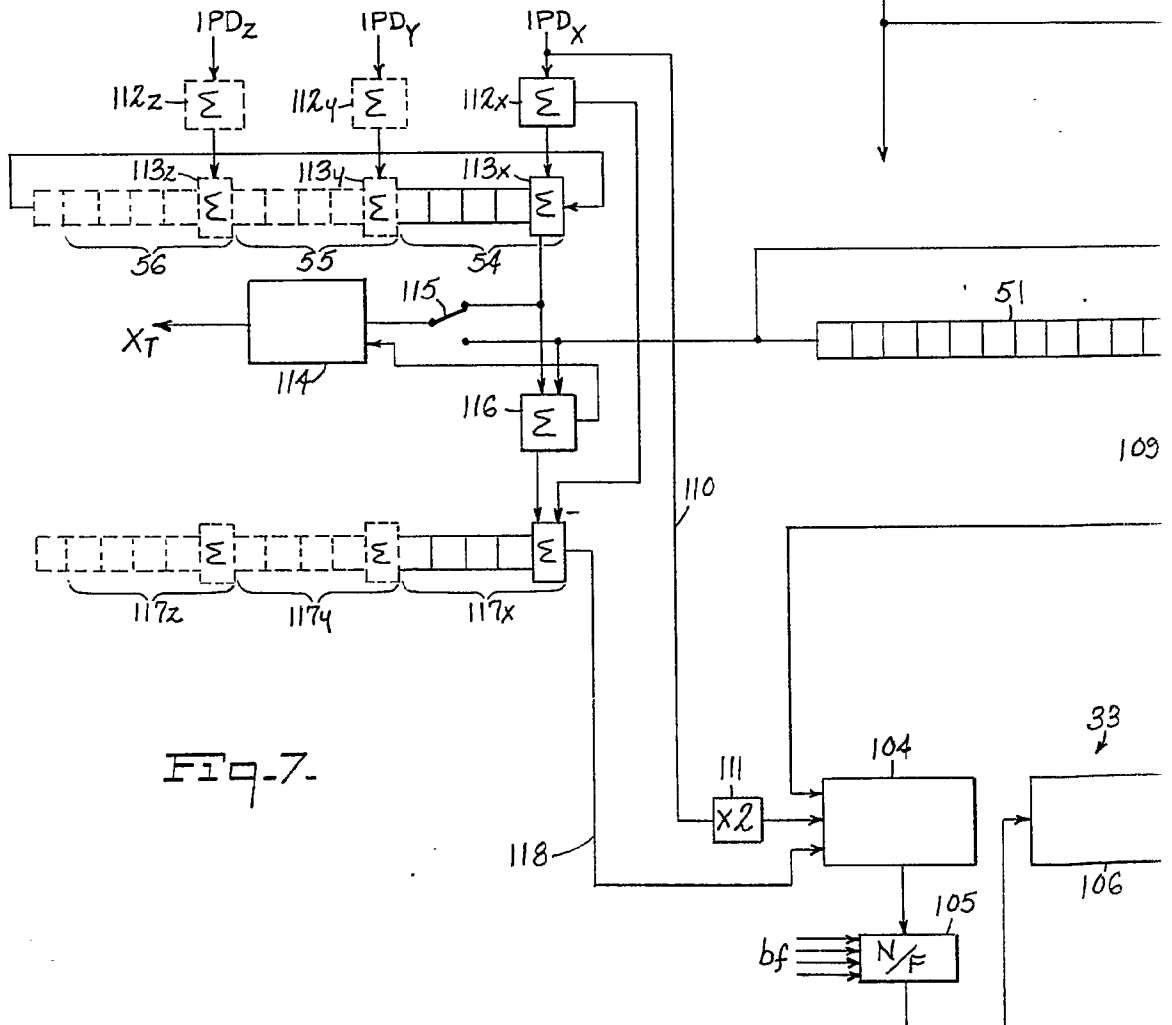
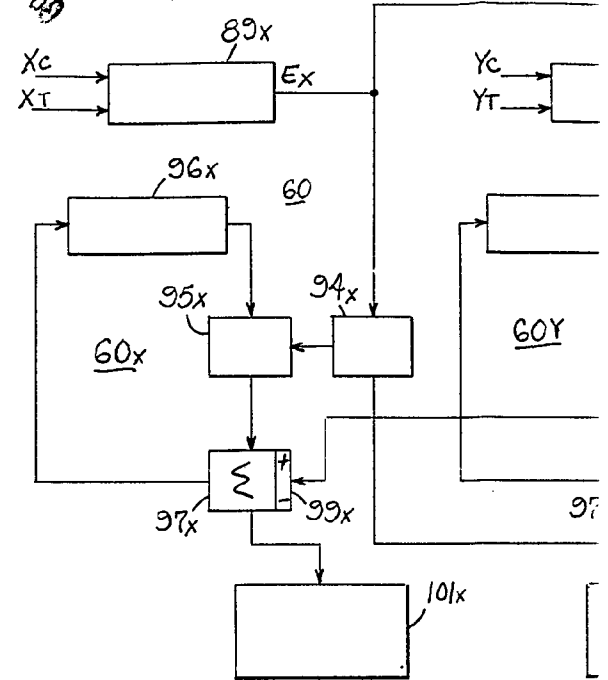
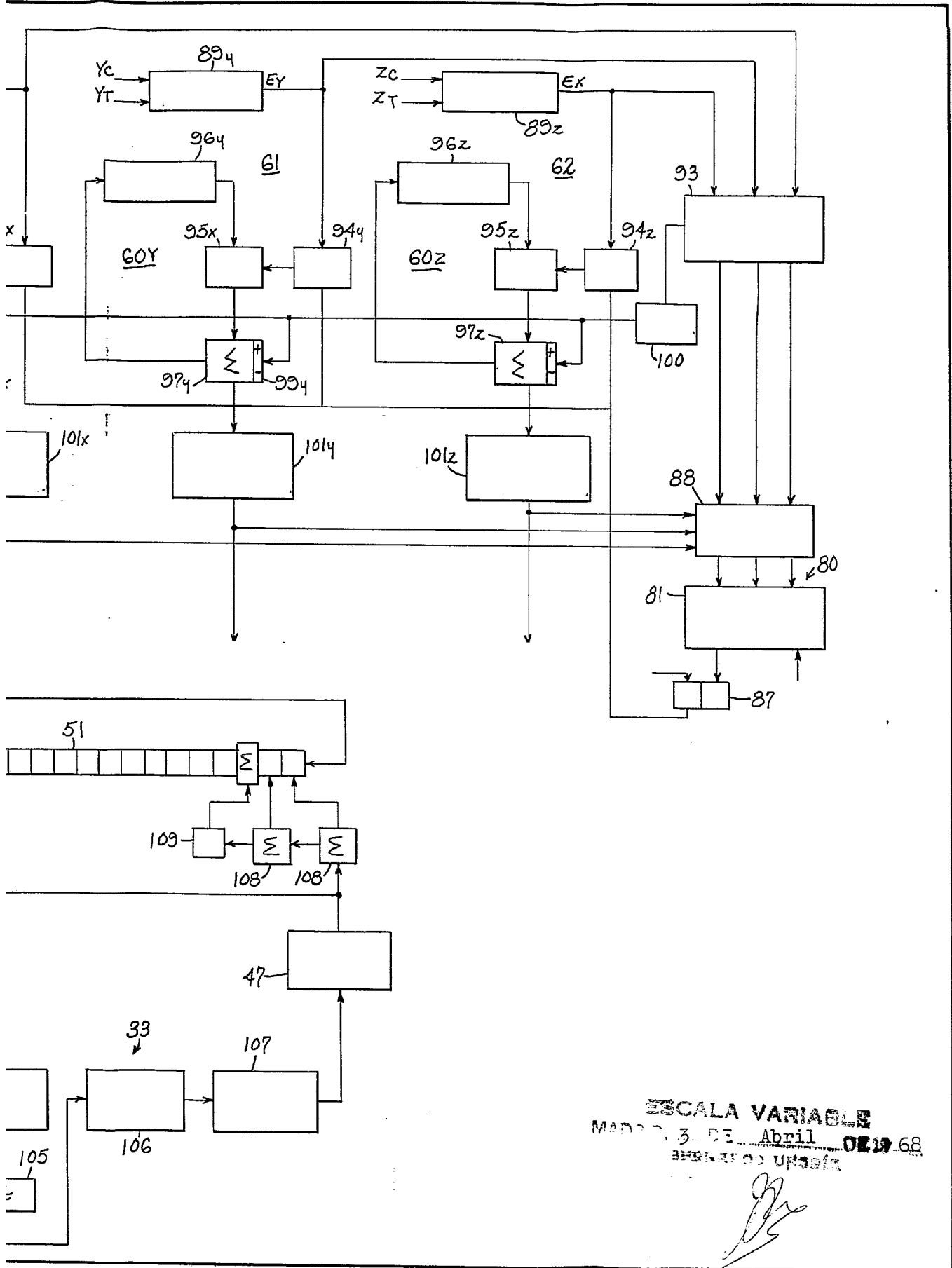


FIG. 7.



ESCALA VARIABLE
 MAR 27 3 DE Abril 0219 68
 INSTITUTO UNIBSA

[Handwritten signature]



Fig. 8a.

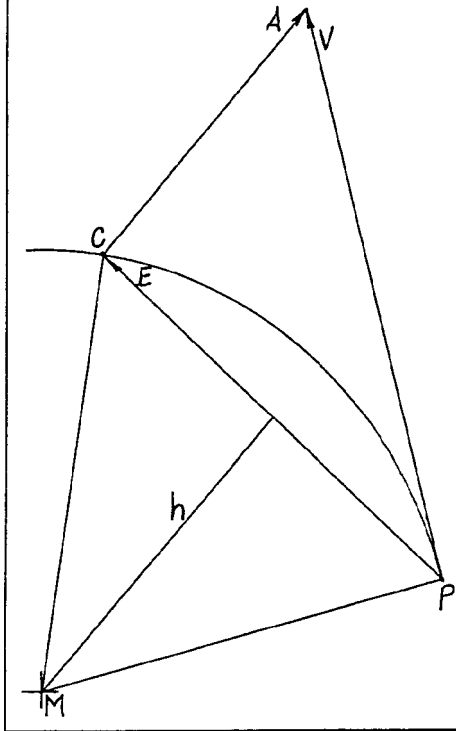


Fig. 8b.

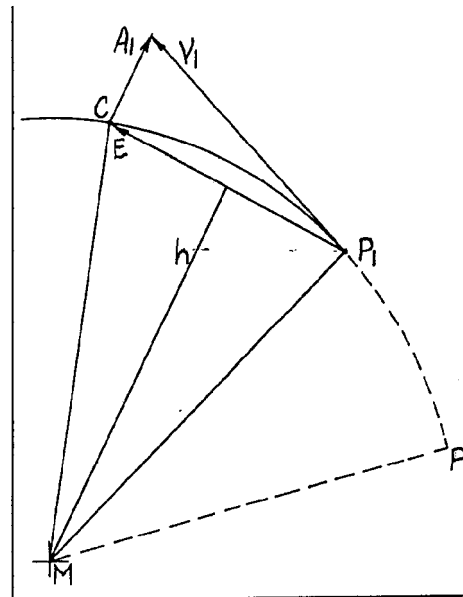
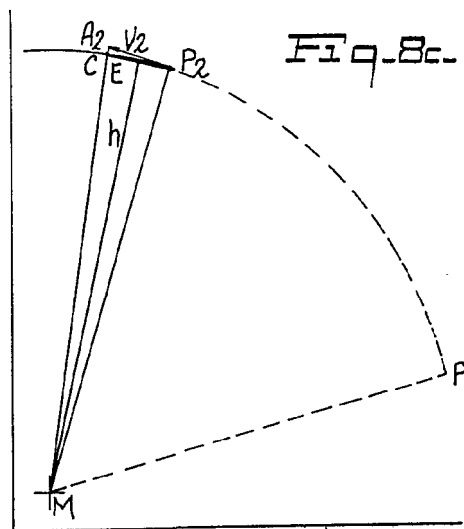


Fig. 8c.

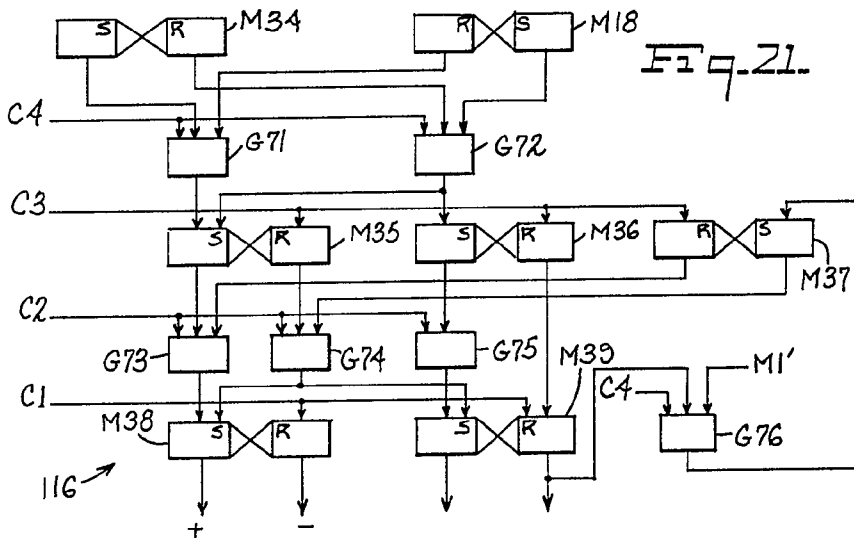
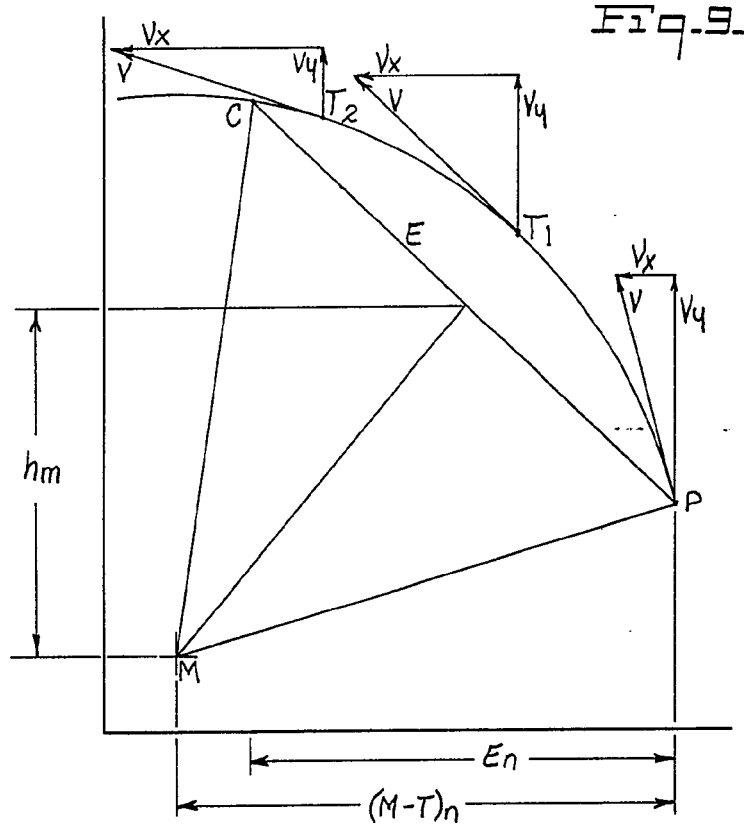


ESCALA VARIABLE

MADRID, 3 DE Abril DE 1968

BERNARDO UGORIA

P. P.



ESCALA VARIABLE
 MADRID, 3 DE Abril DE 1968
 BERNARDO UNOÑA
 P. P.

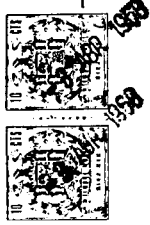
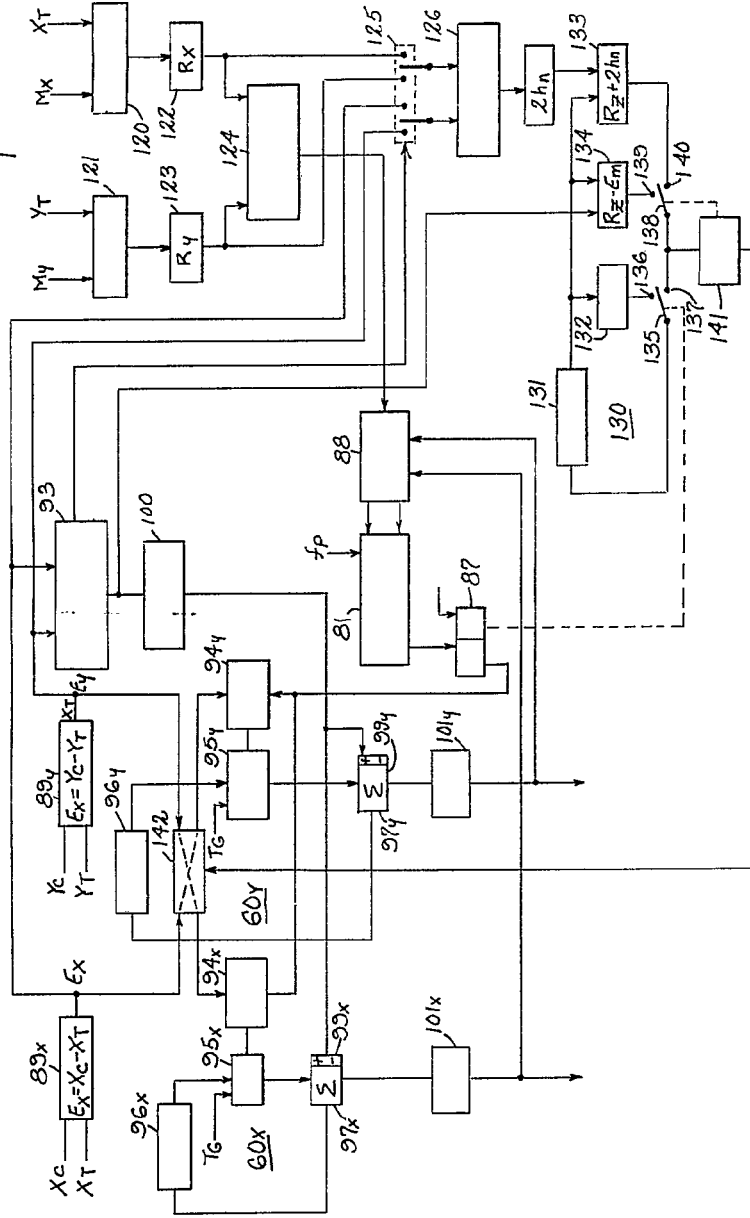


Fig. 10.



ESCALA VARIABLE
 MAR 1968 DE ABRIL DE 1968
 BERNARDO UNGRIA

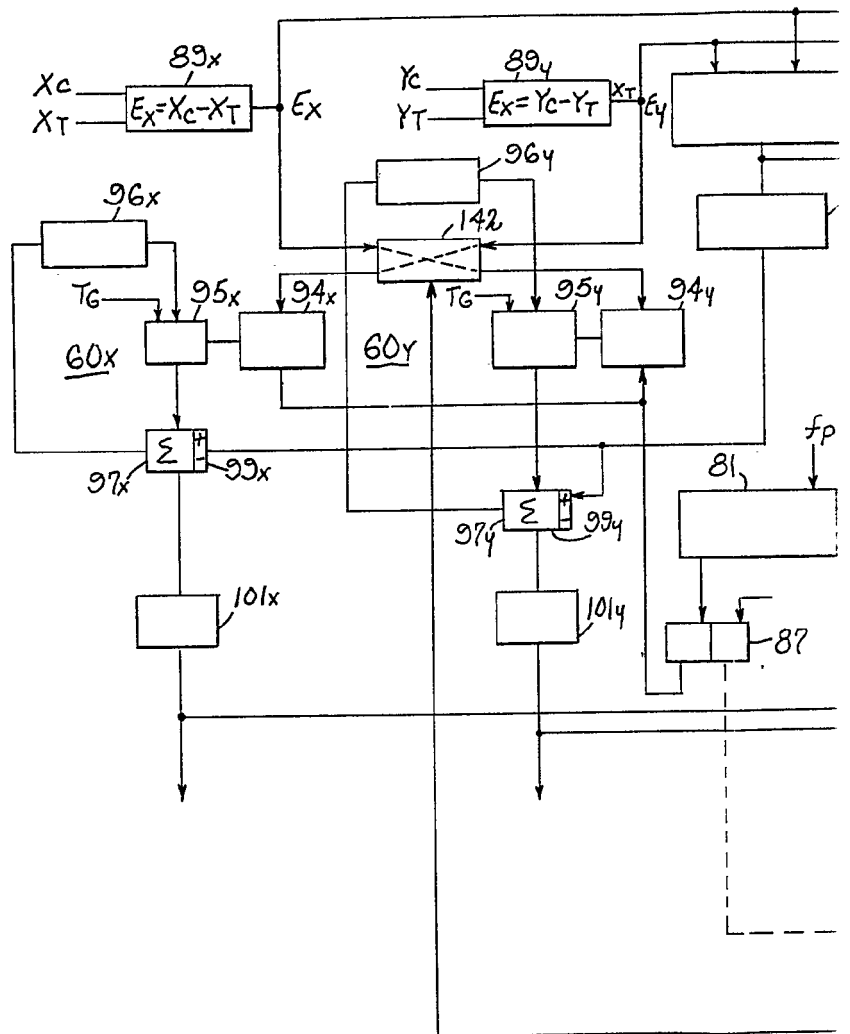
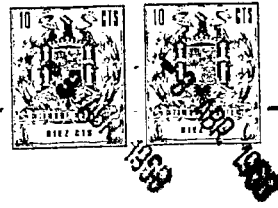
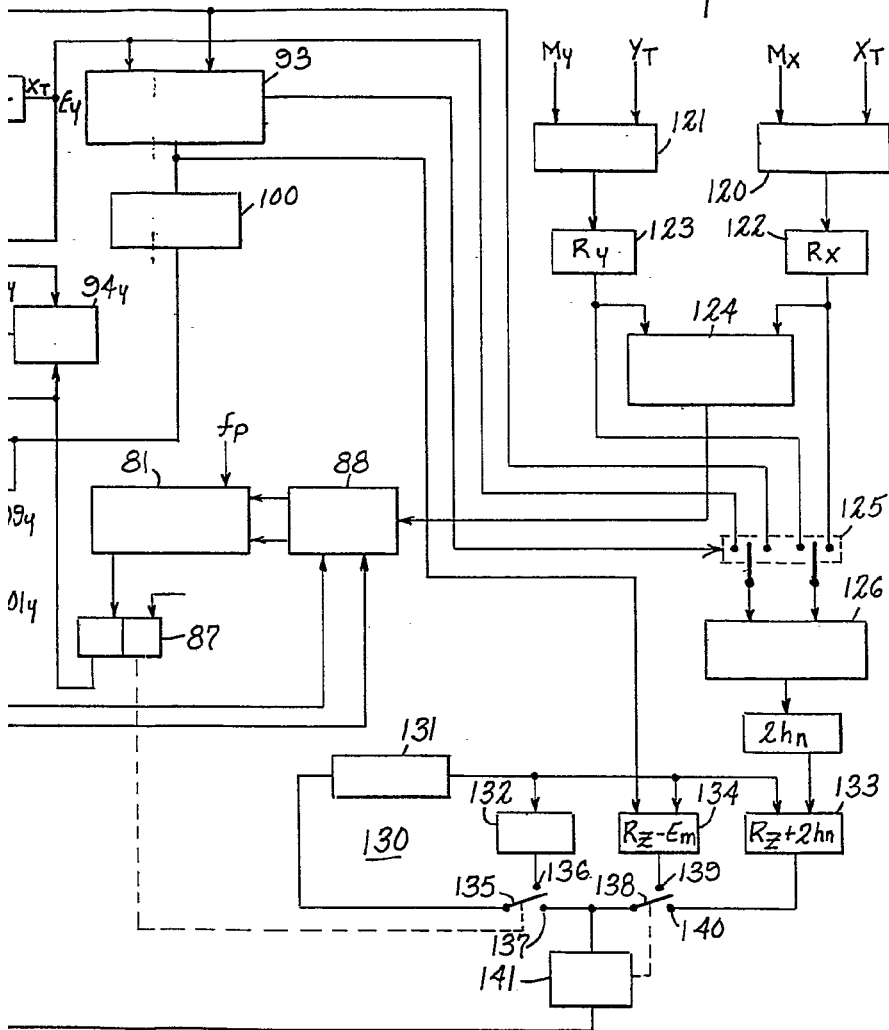


Fig. 10.



ESCALA VARIABLE
 MAD NO. 3 DE Abril DE 19 68
 BERNARDO UNGRÍA
 S. R.



Fig. 11.

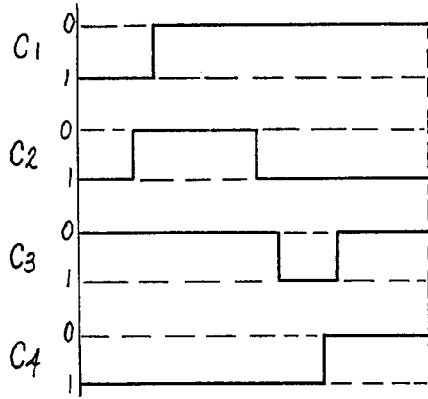


Fig. 12.

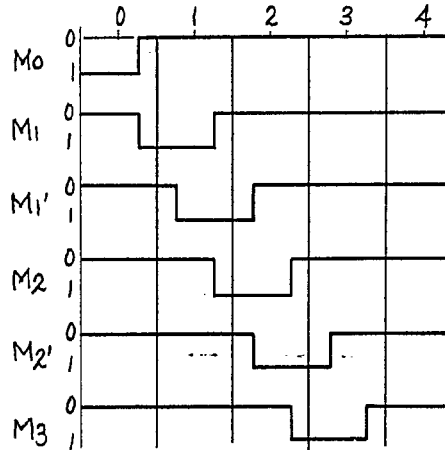


Fig. 13a.

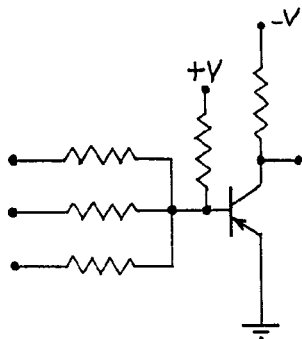


Fig. 14a.

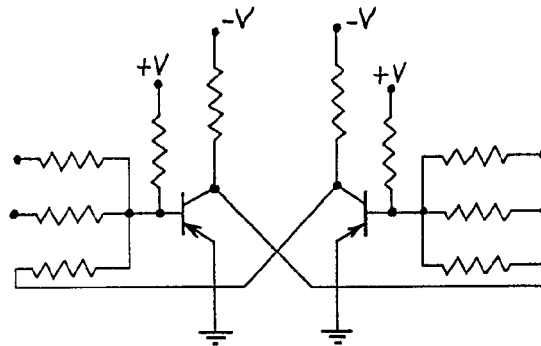


Fig. 13b.

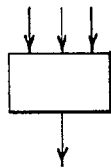
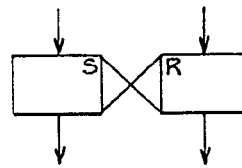


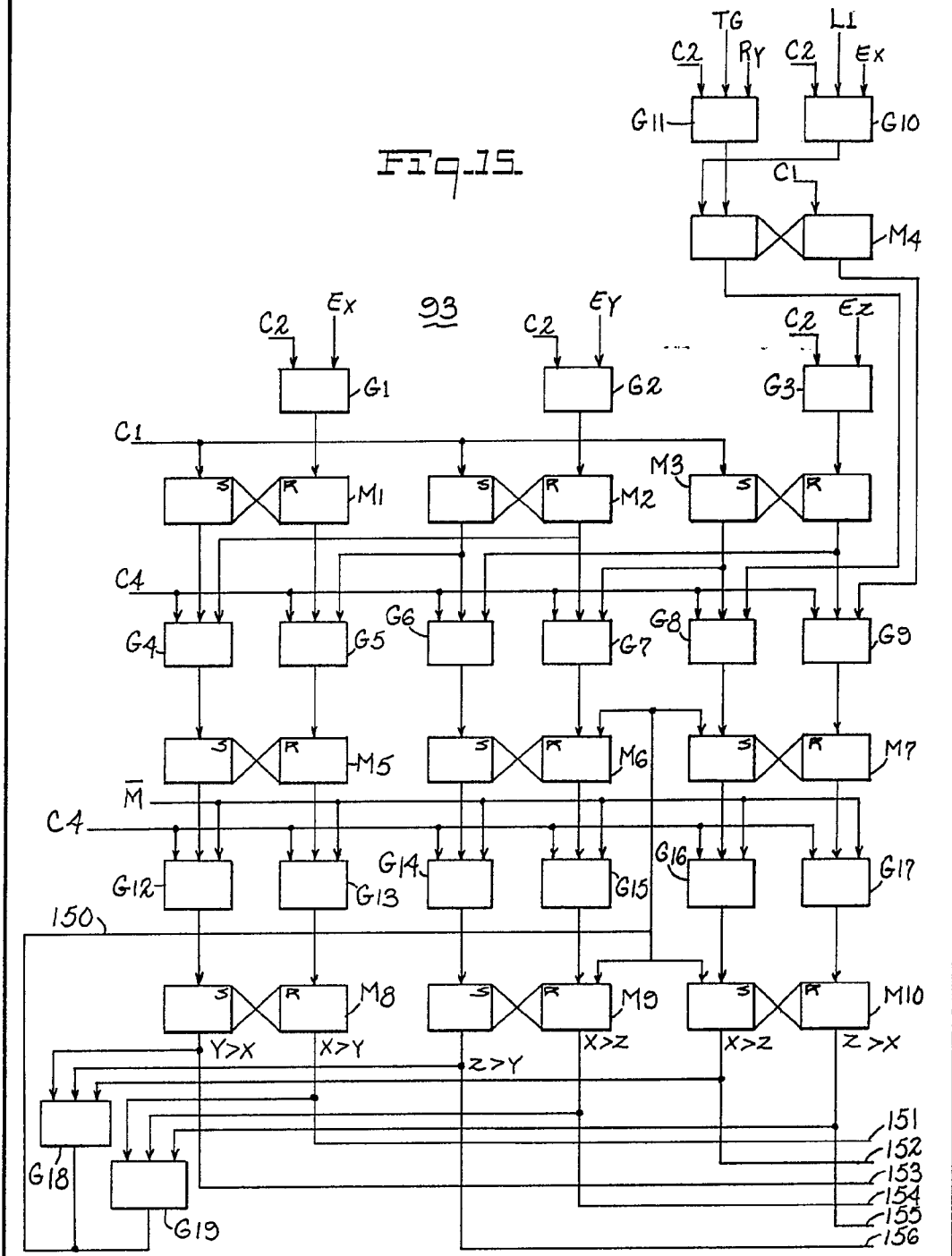
Fig. 14b.



ESCALA VARIABLE
 MADRID, 3 DE Abril DE 1968
 BERNARDO UNGRIA
 P. P.



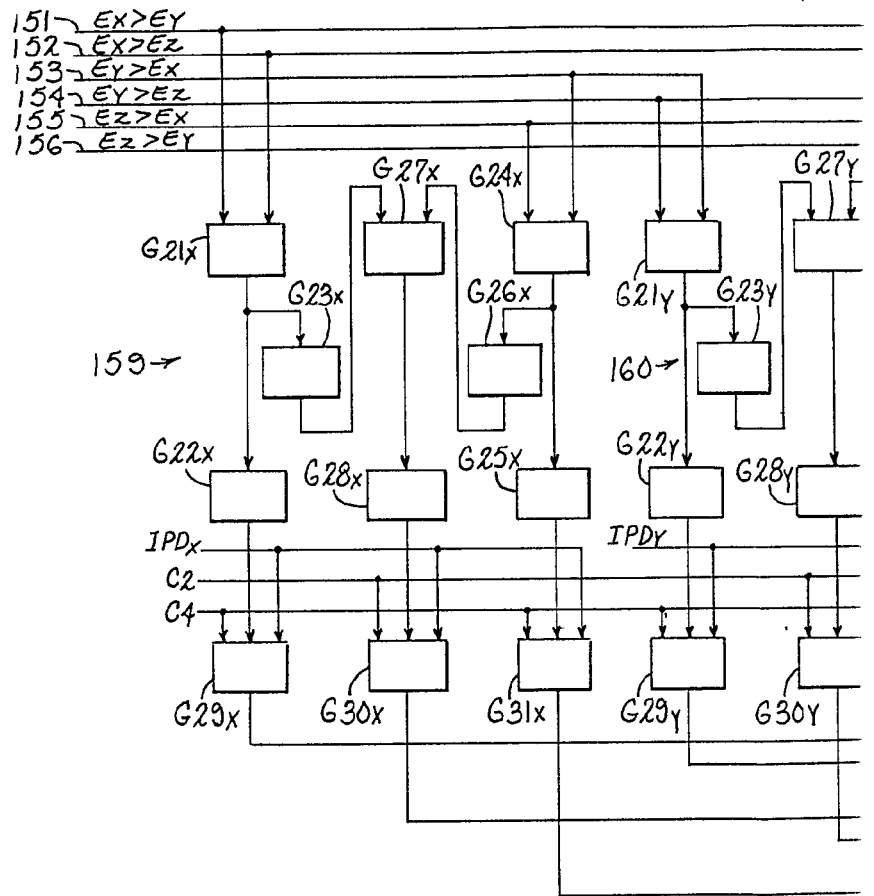
FIG. 15.



ESCALA VARIABLE
 MADRID, 3 DE Abril DE 1968
 BERNARDO UGUELA
 P. P.



FIG. 1E



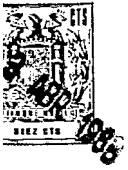
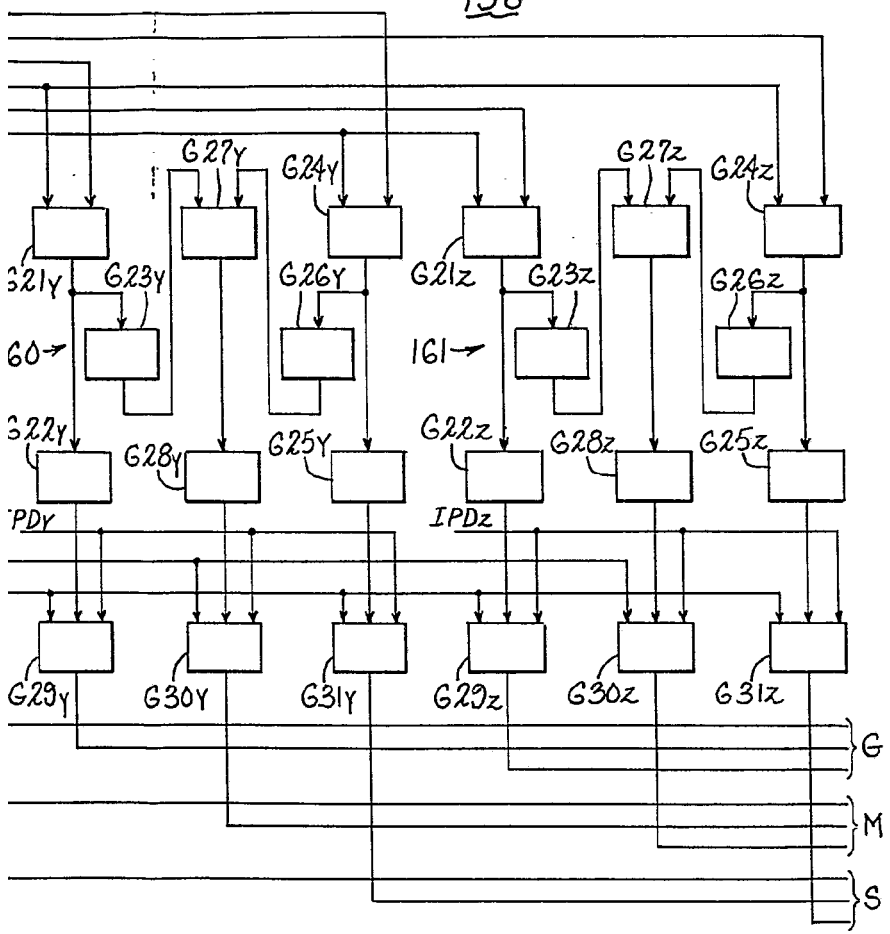


Fig. 16.

158



ESCALA VARIABLE
MADRID, 3 DE Abril DE 1968
ENCUADRO VIGORIA
S. I.

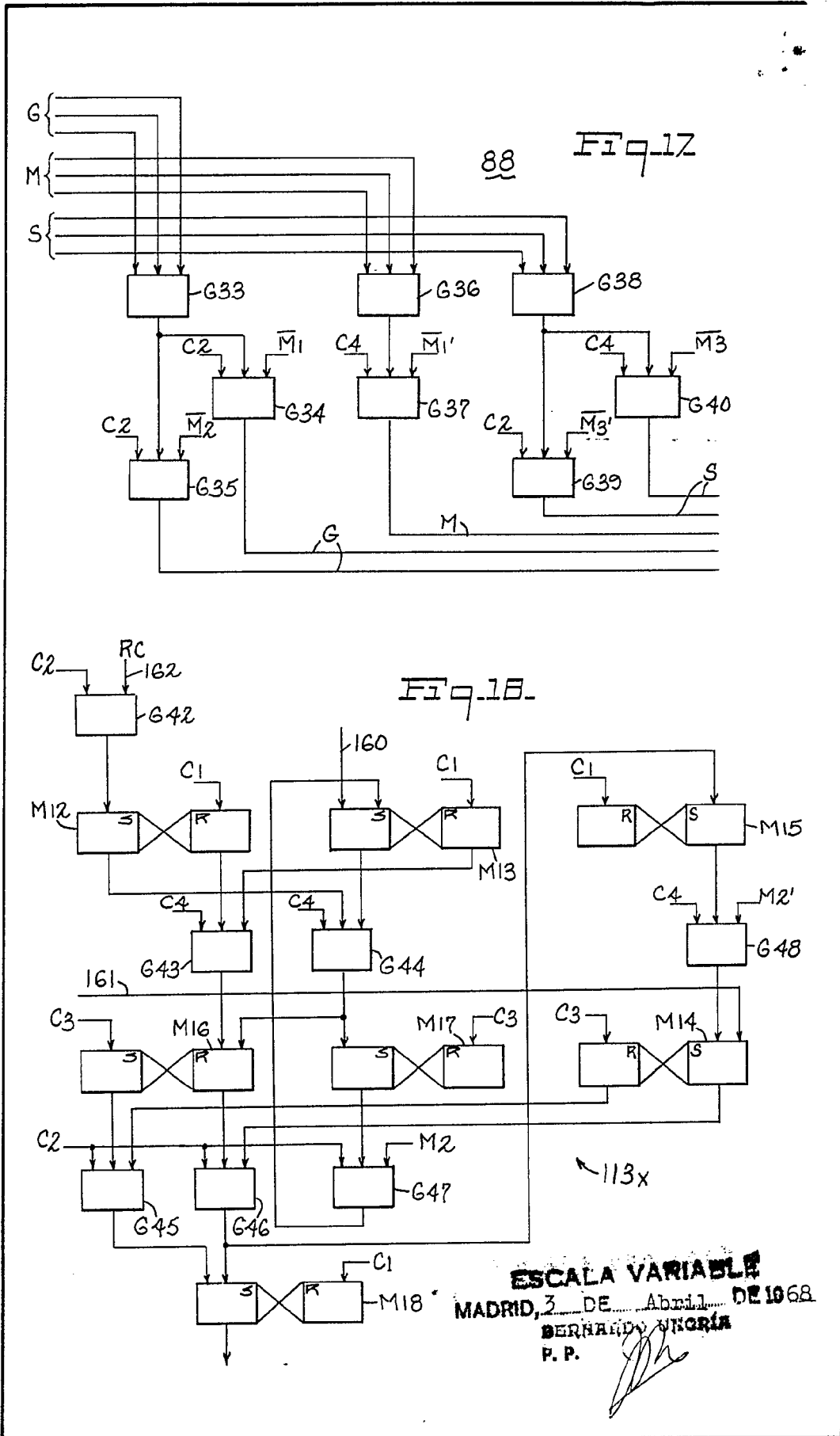
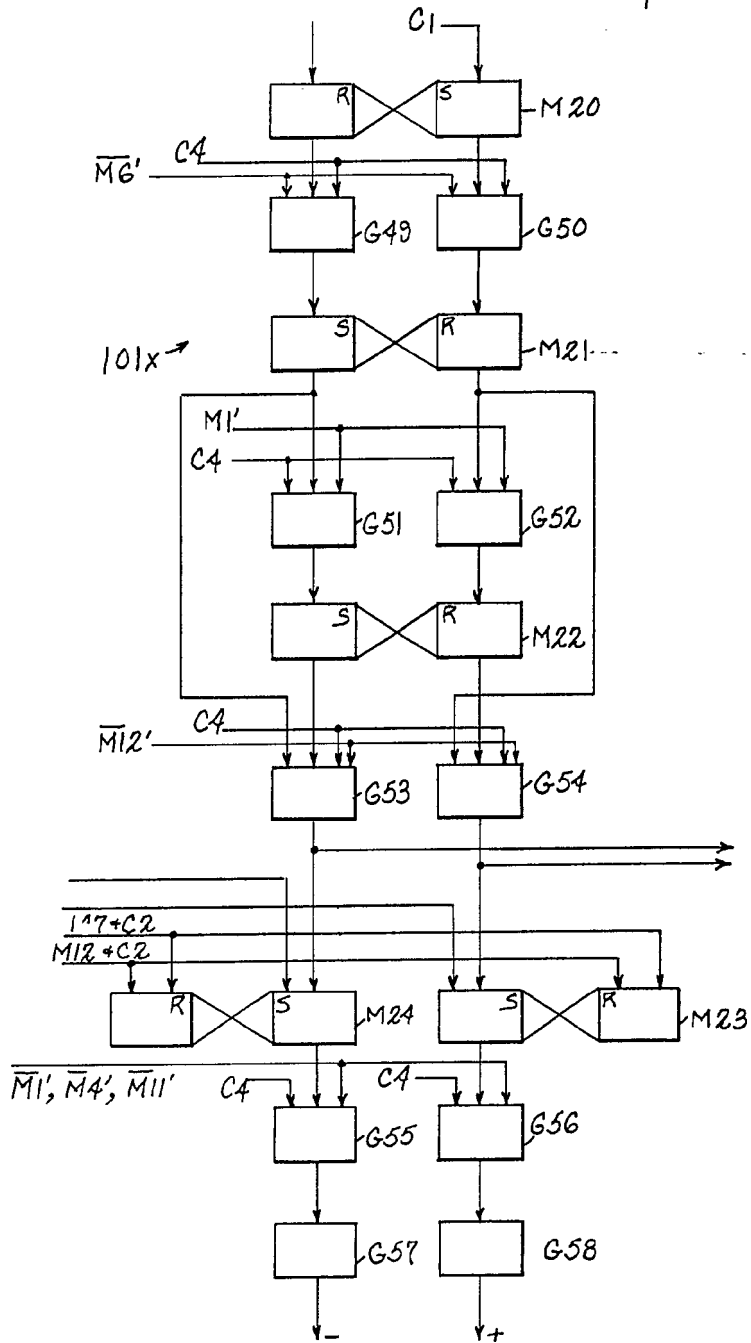


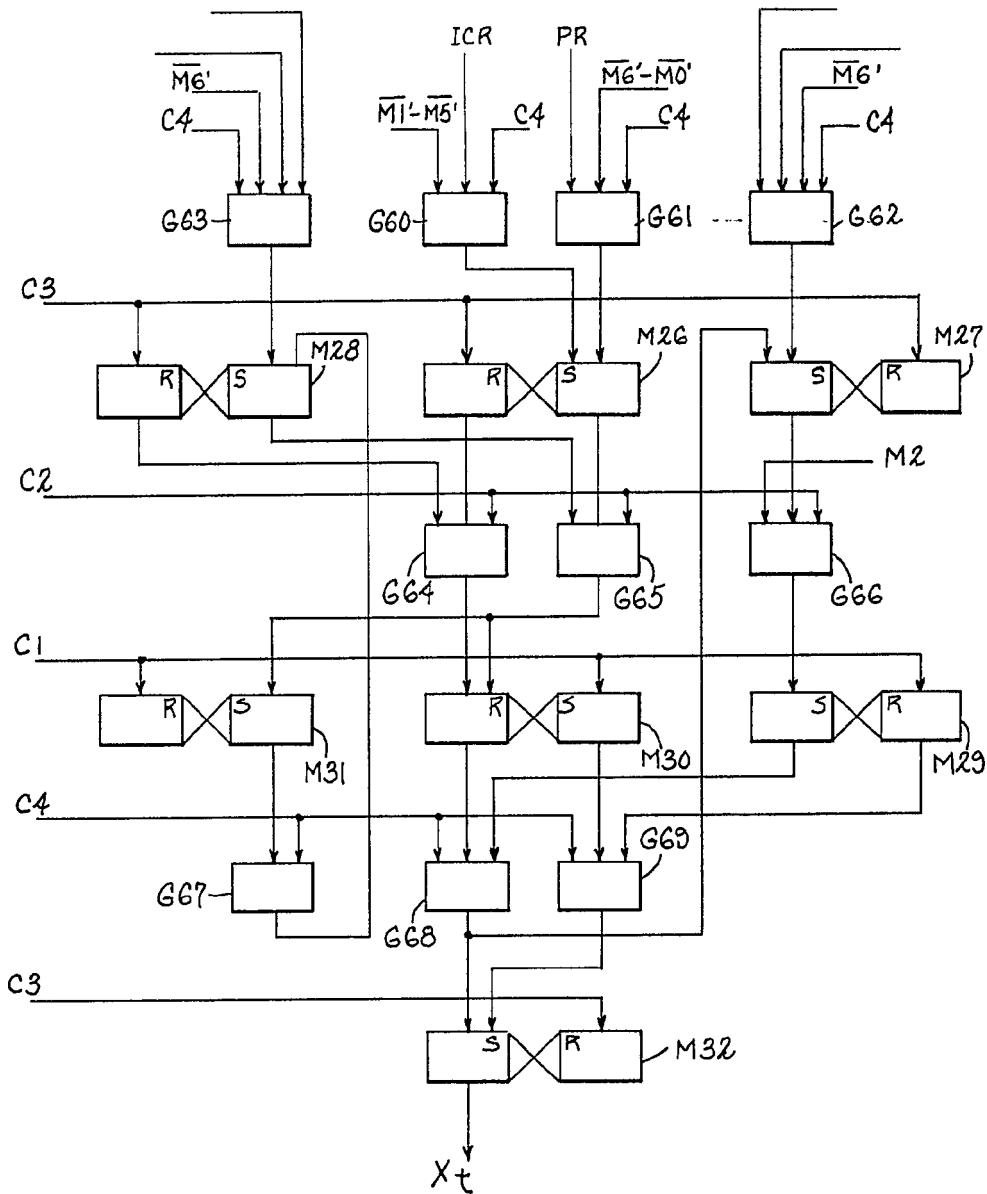


Fig. 19.



ESCALA VARIABLE
MADRID, 3 DE Abril DE 1968.
BERNARDO UNGRIA
P.R.

Fig. 20.



ESCALA VARIABLE
 MADRID, 3 DE Abril DE 1968
 BERNARDO UNGRIA
 P. P.