

413984

P.- 54.132

W.E. Case
Nº. 43.54812-D2

413984



Memoria descriptiva F.E. 6-11-75

Clase	G05B/G06F
Int. Cl.	
Int.	

para solicitar PATENTE DE INVENCION en ESPAÑA por 20 años

a nombre de WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION

entidad / ~~nacionalidad~~ norteamericana

con domicilio en Westinghouse Building, Gateway Center,
Pittsburgh, Pensilvania 15222, Estados Unidos de América

por: "UN SISTEMA PARA CONTROLAR UNA CENTRAL GENERADORA DE
ENERGIA ELECTRICA"

(Clase Internacional F01d, F01k)



413984

La presente invención se refiere a turbinas de fluido elástico, y más en particular a sistemas y métodos para hacer funcionar turbinas de vapor y centrales generadoras de energía eléctrica en las cuales haya generadores accionados por turbinas de vapor.

En las grandes centrales de energía eléctrica, el control de las turbinas tiende típicamente a la cantidad de carga eléctrica en megavatios y a la participación en frecuencia de la turbina, una vez que la velocidad del rotor de la turbina se ha llevado de manera controlable al valor de sincronismo y que el generador ha sido conectado al sistema de energía eléctrica.

Las variables finales de la central o del sistema de central bajo control y el funcionamiento de las turbinas vienen determinados por la variación controlada del flujo de vapor a una o más de las diversas etapas del particular tipo y el diseño particular de la turbina en uso.

El vapor generado a presión controlada puede hacerse llegar a la caja de vapor de la turbina por medio de una o más válvulas de paso o de toma de vapor accionadas por el sistema de control de la turbina. Hay unas válvulas de regulador de velocidad o de control dispuestas para alimentar unas entradas de vapor colocadas en torno a la periferia de una envolvente de tramo de turbina de alta presión. Las válvulas de regulador funcionan también accionadas por el sistema de mando o



413984

control de la turbina, para determinar el gasto de vapor procedente de la caja de vapor a través de las toberas o álabes estacionarios y del sistema de paletas o álabes del rotor, del tramo de turbina de alta presión.

5 Al salir de las etapas de alta presión o en las de presión intermedia, el vapor suele dirigirse a una etapa de recalentamiento intermedio, donde se eleva su entalpía. En el trayecto de paso del vapor de recalentamiento intermedio se suelen instalar una o más válvulas interceptadoras
10 y/o de paso del recalentador intermedio a fin de reducir el gasto de vapor según lo necesario para proteger contra embalamientos de la turbina.

 Para el control del vapor en los diversos tipos y proyectos de turbinas pueden usarse diversas disposiciones
15 de válvulas, pero en general se vienen prefiriendo, para el control del vapor, los dispositivos de válvula accionados hidráulicamente, a causa de su relativamente bajo coste en combinación con su aptitud para hacer frente a demandas súbitas de energía de accionamiento y a los requisitos de velocidad y exactitud de posicionamiento.
20

 Es objeto principal del presente invento un sistema de control de turbinas que permita el adiestramiento de operadores u otras tareas mientras la turbina está en funcionamiento.

25 Teniendo en cuenta este objeto, la presente in-



413984

vención reside en un sistema para controlar una central ge-
neradora de energía eléctrica, que incluye un ordenador o
calculadora para controlar el funcionamiento de dicha central
y suministrar, con arreglo a un plan o programa prefijado en
5 consideración a dichos datos operacionales, unas señales de
control para el funcionamiento o manejo de dicha central, ca-
racterizado dicho sistema por el hecho de que el citado orde-
nador o calculadora incluye medios para simular el funciona-
miento de dicha central, suministrando datos operacionales
10 simulados, y medios para simular la respuesta de dicha central
con arreglo al citado plan prefijado para permitir el adies-
tramiento del personal operador u otras tareas.

La invención se desprenderá con mayor facilidad
de la siguiente descripción de una forma preferida de reali-
zación de la misma, ilustrada a título de mero ejemplo en los
15 dibujos adjuntos, en los cuales:

- la figura 1 representa un esquema teórico de una
central de energía eléctrica que incluye una turbina de vapor
de gran potencia y una caldera del tipo cilíndrico alimentada
con combustible fósil, así como unos dispositivos de control,
20 que pueden hacerse funcionar todos con arreglo a los princi-
pios de la invención;

- la figura 2 muestra un esquema teórico de un
sistema de control programado por calculadora numérica, que
puede hacerse funcionar con la turbina de vapor y sus dispo-
sitivos asociados de la fig. 1, con arreglo a los principios
25



413984

de la invención;

- la figura 3 ilustra un sistema hidráulico para suministrar fluido hidráulico a unos activadores de válvulas de la turbina de vapor;

5 - la figura 4 representa un esquema teórico de un servosistema conectado a los activadores de válvulas;

- la figura 5 muestra un esquema teórico de un enlace híbrido entre un sistema manual de apoyo de control y la calculadora numérica conectada al servosistema que controla a los activadores de válvulas;

10 - la figura 6 representa un esquema simplificado de bloques, del sistema de control numérico electrohidráulico conforme a los principios de la presente invención;

15 - la figura 7 representa un esquema de bloques de un programa de control utilizado con arreglo a los principios de la presente invención;

20 - la figura 8 muestra un esquema de bloques de los programas y "sub-rutinas" del programa numérico electrohidráulico y de arranque automático y vigilancia de la turbina con arreglo a los principios de la invención;

- la figura 9 presenta un cuadro de asignaciones de programa o prioridad de tareas, con arreglo a los principios de la invención;

25 - la figura 10 muestra la localización de las sub-rutinas con arreglo a los principios del presente inven-

413984



to;

- la figura 11 representa un esquema funcional de un programa de regulador de acción "proporcional más reposición" que puede hacerse funcionar con arreglo a los principios de la presente invención;

5

- la figura 12 representa un esquema de circulación de la sub-rutina de acción proporcional más reposición (PRESET), que puede hacerse funcionar con arreglo a los principios del presente invento;

10

- la figura 13 muestra un esquema por bloques de una función de regulador proporcional con banda muerta, que puede ponerse en acción con arreglo a los principios del presente invento;

15

- la figura 14 representa el esquema de circulación de una subrutina de bucle de velocidad (SPDLOOP), que puede hacerse funcionar con arreglo a los principios de la presente invención;

20

- la figura 15 muestra el esquema funcional de una sub-rutina para entradas de exploración de cierre de contactos, del sistema numérico electrohidráulico, que puede hacerse funcionar con arreglo a los principios de la invención;

y

25

- la figura 16 presenta el esquema de bloques de un programa auxiliar de calculadora de sincronismo, que puede hacerse funcionar con arreglo a los principios del presente

13-8-73



413984

invento.

La fig. 17 es un diagrama de flujo para la señal de demanda de velocidad en el bloque simulador del ordenador; y

5 La fig. 18 es un diagrama de flujo para la señal de referencia de megavatios según es aplicada al bloque simulador del ordenador.

10 En la fig. 1 se ilustra una central eléctrica 12 de turbina de vapor de gran potencia, con simple recalentamiento intermedio que se hace funcionar y se regula con arreglo a los principios de la invención.

15 La turbina 10 está provista de un solo árbol o eje de salida 14, el cual mueve un generador de corriente alterna 16 de tipo usual, de gran tamaño, produciendo energía eléctrica trifásica medida con un equipo usual 18 de detección de energía. El generador 16 está conectado, por medio de unos disyuntores 17, a una amplia red de distribución de energía eléctrica. En sincronismo, la contribución del generador 16 a la alimentación de la red viene normalmente determinada por el gasto de vapor de la turbina, que en este caso es suministrado a la turbina 10 a una presión de estrangulamiento o toma de vapor esencialmente constante.

20 La turbina 10 incluye un tramo de alta presión 20, un tramo de presión intermedia 22 y un tramo de baja presión 24.

25 El vapor para impulsar la turbina 10 viene desarrollado por un sistema 26 generador de vapor de cualquier tipo, y es admitido a la caja de vapor de la turbina. Desde la caja de vapor, se dirige el vapor a la etapa de expansión del

413984



5 primer tramo, de alta presión, por medio de unas válvulas ligeras GV1 ... GV8 de entrada al regulador, que están dispuestas para suministrar vapor a las entradas repartidas en arco en torno a la envolvente o carcasa de alta presión de la turbina.

10 Durante la puesta en marcha, las válvulas de regulador GV1 ... GV8 están completamente abiertas, y el control del paso de vapor viene proporcionado por una operación de válvulas de toma de vapor de arco completo. En cierto punto del procedimiento de puesta en marcha, se cambia pasando del control por válvulas de toma de vapor o de arco completo al control por válvulas de regulador o de arco parcial, a causa de las pérdidas de energía del estrangulamiento y/o de la capacidad y posibilidades del control por estrangulamiento o toma de vapor. Al efectuarse este cambio o transferencia de control, las válvulas de toma de vapor TV1 ... TV4 están completamente abiertas, y las válvulas de regulador GV1 ... GV8 se hacen funcionar individualmente en una secuencia prefijada, que usualmente tiende a lograr un equilibrio térmico en el rotor y una reducción de esfuerzos en los álabes del rotor, al tiempo que produce la velocidad deseada en la turbina y/o el nivel de funcionamiento en carga.

25 El método preferido para la puesta en marcha de la turbina es el de elevar la velocidad de la turbina, desde la velocidad del mecanismo de arranque, de unas 2 rpm, a alre



413984

dedor del 80% de la velocidad de sincronismo, bajo el control de las válvulas de toma de vapor, y cambiar o pasar luego al control por válvulas de regulador y elevar la velocidad de la turbina hasta la de sincronismo, para a continuación cerrar los disyuntores del sistema de conexión eléctrica y satisfacer la demanda de carga.

Desde el tramo de turbina 20 de alta presión, el vapor se dirige a un sistema de recalentador intermedio 28 asociado a un sistema de caldera o generador de vapor 26, dispuesto en relación de transmisión de calor con el recalentador intermedio 28 según lo indicado por el carácter de referencia 29.

El vapor recalentado intermedio viene del sistema de recalentador intermedio 28 recorriendo el tramo de turbina 22 de presión intermedia y el tramo de turbina 24 de baja presión. De este último, el vapor viciado sale a un condensador 32, desde el cual se devuelve a la caldera 26 el producto de condensación.

El flujo de paso de vapor de recalentamiento intermedio no se restringe normalmente, pero se prevé una válvula de paso o de cierre SV accionable por medio de un activador 46, si bien esta válvula se cierra solamente cuando la turbina se para. En el trayecto de circulación del vapor de recalentamiento intermedio se disponen también unas válvulas de interceptación IV (de las cuales sólo se repre-



413984

senta una), que, aunque normalmente abiertas, son operativas en todo un determinado intervalo para permitir la modulación de reducción del paso de vapor de recalentamiento intermedio en condiciones de embalamiento de la turbina.

5 La presión de toma de vapor es asimismo una variable exteriormente controlable sobre la cual es posible basar el funcionamiento de la turbina. Un detector 38 de la presión de toma de vapor mide esta presión, dando la seguridad de un suministro de presión de toma de vapor esencialmente constante y, si así conviene, como función de control predominante en un sistema de protección programado por calculadora, es posible dirigir la acción de control de la turbina a un control de la presión de toma de vapor así como, o en lugar de, un control de la velocidad y/o de la carga, si la presión de toma de vapor se sale de unos límites obligatorios de seguridad y de protección de condensación de la turbina prefijados.

15 Para las cuatro válvulas de estrangulamiento o de toma de vapor TV1 ... TV4 se prevén unos activadores de válvula de toma de vapor respectivos, hidráulicamente accionados, indicados por el número de referencia 42. De igual modo, para las ocho válvulas de regulador GV1 ... GV8 se prevén unos activadores de válvula de regulador respectivos, hidráulicamente accionados, indicados por el carácter de referencia 44. Para los sistemas de válvulas de cierre

413984



del recalentamiento intermedio y de interceptación, SV e IV, se prevén unos activadores hidráulicamente accionados, indicados por los caracteres de referencia 46 y 48. Una alimentación de fluido 50 de alta presión, vigilada por ordenador, suministra el fluido de control para el funcionamiento de los activadores de las válvulas TV1 ... TV4, GV1 ... GV8, SV e IV.

Los activadores de válvulas de entrada 42 y 44 están accionados por unos mandos respectivos de posición de estabilización indicados por los números de referencia 50 y 52. Si así se desea, es posible también hacer funcionar los activadores 48 de las válvulas de interceptación por medio de un mando de posición 56.

Se prevén unos detectores de posición de válvula PDT1 ... PDT4, PDG1 ... PDG8 y PDI, para generar unas señales respectivas de realimentación de posición de válvula a fin de desarrollar unas señales de error de posición a aplicar a los respectivos controles de posición 50, 52 y 56. Uno o más detectores de contacto CSS proporcionan datos de estado para el sistema de válvulas de cierre SV. Los detectores de posición pueden hacer uso de un funcionamiento a base de transformador diferencial variable lineal generando señales de retroacción negativa de posición para efectuar la suma algébrica respecto a las señales SP de punto de ajuste de posición, en el desarrollo de las respectivas señales de error de entrada. Un funcionamiento controlado en posición

413984



del sistema de válvulas de interceptación IV, típicamente, se habilitaría tan sólo cuando lo requiriese la reducción del flujo de paso de vapor de recalentamiento intermedio.

5 Los puntos de ajuste de posición SP vienen determinados por calculadora y suministrados a los bucles locales respectivos, y son actualizados periódicamente. Los puntos de ajuste SP pueden también calcularse para los controles de válvula de interceptación cuando se empleen estos últimos.

10 Para determinar la velocidad del árbol de la turbina, a los fines de control de la velocidad y control de la participación en la frecuencia, se prevén unos detectores de velocidad 58 y 59. El detector de velocidad 58, por ejemplo, puede estar realizado en forma de captador de
15 reluctancia (no representado), magnéticamente acoplado a una rueda dotada de muescas (tampoco representada) montada en el árbol 14 del turbogenerador. En la forma de realización detallada que más adelante se describe, se emplea una pluralidad de perceptores para la detección de velocidad. Las se-
20 ñales analógicas y/o de impulsos producidas por los detectores de velocidad 58 y 59, el detector 18 de energía eléctrica, los detectores de presión 38 y 40, los detectores de posición de válvula PDT1 ... PDT4, PDG1 ... PDG8 y PDI, el contacto o los contactos de estado CSS y otros detectores (no
25 representados) y contactos de estado (tampoco representados)

413984



se emplean en el funcionamiento programado por calculadora de la turbina 10 con diversos fines, entre los que se incluyen el control del funcionamiento de la turbina a base de tiempo real y en línea, así como los de vigilancia, establecimiento de secuencias, supervisión, alarma, presentación y registro.

Como se ilustra en general en la fig. 2, un sistema de control numérico electrohidráulico (DEH) 1100 incluye una calculadora numérica programada 210 que puede comprender un equipo físico usual, incluido un ordenador central 212 y una memoria 214. La calculadora numérica 210 y su equipo asociado de enlace o periférico de entrada/salida es un sistema de calculadora numérica adecuado, tal como el vendido por la Westinghouse Electric Corporation bajo la designación comercial de P2000. En los casos en que el sistema generador de vapor 26, así como la turbina 10, se pongan bajo control de calculadora, es posible hacer uso de un sistema de calculadora mayor, tal como el puesto en el mercado por Xerox Data Systems y conocido como Sigma 5. Es posible emplear calculadoras independientes, tales como la calculadora P2000, para las respectivas funciones de control en la instalación controlada, lográndose la interacción mediante una interconexión mutua de las calculadoras independientes, por medio de enlaces de datos, o por otros medios.

25

El enlace del equipo con la calculadora 210 in-

413984



cluye un sistema de interrupción 124 de contacto, que explora los contactos y otras variables de estado representativas del estado de las diversas condiciones de la central y del equipo en el conexionado de central 1126. Los contactos de estado podrían ser, típicamente, unos contactos de relés mo-
5 jados en mercurio (no representados) que funcionasen por medio de unos circuitos de excitación (tampoco representados) capaces de percibir la condición prefijada asociada a los diversos dispositivos del sistema. Los datos procedentes de los contactos de estado se usan en control y funciones lógi-
10 cas de enclavamiento para otros programas, funciones de sistema analógico de protección, vigilancia programada y registro continuo y registro de demanda, etc.

Unos pulsadores de mando 1130 en panel de operador transmiten información numérica a la calculadora 2010.
15 Los pulsadores 1130 de panel de operador pueden fijar o establecer una referencia de carga, una presión de impulsión, salida de megavatios, velocidad, etc.

Además, se prevé el enlace con un sistema de instrumentos 1118 de la central, por medio de un sistema de
20 entradas analógicas 1116. El sistema de entradas analógicas 1116 muestrea las señales analógicas a un régimen prefijado, tomándolas de unos canales de entradas predeterminados, y convierte las señales muestreadas o seleccionadas en valores
25 numéricos para su introducción en la calculadora 210. Las



413984

señales analógicas percibidas en los instrumentos 1118 de la central representan la presión de la cámara de impulsión, la potencia en megavatios o las posiciones de válvula, de las válvulas de paso de vapor TV1 ... TV4 y las válvulas de regulador GV1 ... GV8 y la válvula de interceptación IV, la presión de toma de vapor, el gasto de vapor, diversas temperaturas de vapor, la temperatura de trabajo de diversas partes del equipo, la presión y la temperatura de la refrigeración por hidrógeno del generador, etc. Entre estos parámetros se incluyen los de tratamiento o procedimiento detectados o controlados en el proceso (turbina o central) y otras variables que se definen para uso en el funcionamiento programado por calculadora. El enlace con sistemas exteriores, tales como un sistema automático de repartición de la carga, se controla por medio de los pulsadores 1130 en panel de operador.

Se prevé un pupitre y lector de cinta 218 de tipo usual de programador, para diversos fines entre los que se incluye la introducción de programas en el ordenador central 212 y en la memoria 214 del mismo. Se prevé asimismo una máquina de escribir 1146 de registro, para obtener salidas impresas de registro de diversos parámetros vigilados, así como señales y avisos, proporcionados por un sistema automático de arranque o puesta en marcha de la turbina (ATS) que comprende unos bloques de sistema programados 1140, 1142,

413984



1144 y el sistema de control DEH 1100. Un registro de ten-
dencias 1147 registra continuamente unos parámetros prefija-
dos del sistema. Se prevé un sistema de interrupción 124 para
controlar la transmisión de información de entrada y salida
5 entre la calculadora numérica 210 y el equipo de entrada/sa-
lida. La calculadora numérica 210, al aparecer una interrup-
ción procedente del sistema de interrupción 124, actúa con
arreglo a un programa ejecutivo. Los mensajes de interrupción
procedentes del sistema de interrupción 124 detienen la cal-
10 culadora numérica 210, interrumpiendo el programa que esté
en funcionamiento. Las señales de interrupción son atendidas
inmediatamente.

El enlace de salida viene proporcionado por unos
contactos 1128, para la calculadora 210. Los contactos 1128
15 ponen en acción unas lámparas de presentación de estado, y
funcionan en combinación con un sistema usual de salida ana-
lógica y un sistema de salida de control de posición de vál-
vulas que comprende un sistema 220 de mando de válvulas de
toma de vapor y un sistema 222 de mando de válvulas de regu-
20 lador. Al sistema 220 de salida de mando de posición de vál-
vulas va acoplado un sistema de control manual, que se estu-
diará más adelante con mayor detalle en relación con la fig.
8, y que puede hacerse funcionar con aquél para obtener un
control manual de la turbina durante los períodos de parada
25 de la calculadora. Los sistemas 220 y 222 de control de vál-

413984



vulas de toma de vapor y de regulador corresponden a los controles de posición 50 y 52 y los activadores 42 y 44 de válvulas, de la fig. 1.

5 Los datos numéricos de salida de la calculadora 210 se convierten primero en señales analógicas, en un sistema de salida analógica 224, y se transmiten luego al correspondiente sistema 220 y 222 de control de válvulas. También se aplican señales analógicas a unos sistemas y dispositivos auxiliares, no representados, y a unos sistemas de válvulas de interceptación, tampoco representados.

10

Subsistemas exteriores a la calculadora DEH

Al llegar a este punto de la descripción, un análisis adicional de ciertos subsistemas exteriores a la calculadora DEH facilitará la comprensión del presente invento.

15 Haciendo referencia ahora a la figura 3, se representa en ella un sistema de alimentación de fluido 310 de alta presión (HP), para uso en la activación controlada de las válvulas de regulador GV1 ... GV8, las válvulas de toma de vapor TV1 ... TV4 y las válvulas asociadas. Este sistema de alimentación de fluido 310 de alta presión corresponde al sistema de alimentación 49 de la fig 1, y hace uso de un fluido sintético ignífugo, de fosfato y con base de éster, y opera en el intervalo de presiones de entre 106 y 127 kg/cm². Unos acumuladores 312 del tipo de émbolo cargados con nitrógeno mantienen un flujo de paso de fluido a los activadores para las

20

25



413984

válvulas de regulador GV1 ... GV8, las válvulas de toma de vapor TV1 ... TV4, etc. cuando las bombas 314 y 316 están efectuando la descarga a un depósito 318 por medio de unas válvulas descargadoras 320 y 321. Además, los acumuladores 5 312 proporcionan una capacidad adicional de flujo transitorio para los movimientos rápidos de las válvulas.

Con referencia ahora a la fig. 4, se representa en ella con mayor detalle un sistema electrohidráulico típico 322 de activación de válvulas para situar en posición un activador de válvula 410 de tipo modulador contra la fuerza de cierre de un gran muelle de hélice. Una servoválvula 412 excitada por un servoamplificador 414 controla el paso de fluido a su través. La servoválvula 412 controla el paso de fluido que entra o sale del cilindro 416 del activador de 10 válvula, respecto al sistema 310 de alimentación de fluido de alta presión. Un transformador diferencial de tensión lineal LVTD genera una tensión de transductor indicador de posición de válvula, que se suma o combina con una tensión de demanda de posición de válvula en el punto de conexión 418. 15 La sumación de las dos tensiones eléctricas anteriormente citadas produce una señal de entrada de error de posición de válvula, que va al servoamplificador 414. El transformador diferencial de tensión o voltaje lineal LVTD tiene una característica lineal de tensión respecto al desplazamiento del mismo, en la forma de realización preferida. Por lo tanto, la 20 25

413984



posición del activador de válvula 410 se hace proporcional a la tensión de demanda de posición de válvula en la conexión 418.

5 Haciendo referencia ahora a la fig. 5, hay un sistema numérico analógico 510 de conexiones físicas que forma parte del sistema de control DEH 1100 (fig. 2). Estructuralmente, abarca unos elementos que están incluidos en los bloques, 50, 52, 42 y 44 de la fig. 1, así como unos elementos adicionales. Se incluye un enlace híbrido 10 512 formando parte del sistema de conexionado físico 510. El enlace híbrido 512 está conectado a los servoamplificadores 414 del sistema de activación para las diversas válvulas de vapor, las cuales a su vez van conectadas a un regulador manual 516, un regulador de protección contra embalamientos (no representado) y unas alimentaciones 15 duplicadas o de reserva, de energía en corriente continua (tampoco representadas).

El regulador representado en la fig. 5 se emplea para el control de las válvulas de toma de vapor 20 TV1 ... TV4, en el sistema de control 50 de toma de vapor de la fig. 1. Las válvulas de regulador de velocidad GV1 ... GV8 se controlan de manera análoga por medio del sistema de control 52 de GV.

Mientras la turbina de vapor está controlada 25 por la calculadora numérica 210, el sistema de conexionado

413984



físico 510 persigue una salida analógica 520 procedente de la calculadora numérica 210, de manera similar a la del funcionamiento de la disposición descrita en la patente estadounidense de Barns y Giras Nº 3.552.872, y de la
5 solicitud de patente estadounidense Nº 815.882 cedida al cesionario de la presente solicitud. Un comparador 518 compara una señal que viene de un convertidor 522 de numérico en analógico con la señal 520 que viene de la calculadora numérica 210. La señal que sale del comparador
10 518 controla un sistema lógico 524, de tal modo que el sistema lógico hace marchar un contador alternativo 526 hasta el punto en que la salida del contador alternativo 526 es igual a la señal de salida 520 de la calculadora numérica 210. Caso de que el sistema de conexionado físico
15 510 deje de seguir la señal 520 que viene de la calculadora numérica 210, se encenderá intermitentemente una luz de vigilancia en el panel del operador.

Cuando el control revierte del sistema DEH de control al regulador manual 516 de apoyo, a consecuencia de una selección del operador o debido a una condición de contingencia, tal como una pérdida de energía en la calculadora numérica automática 210, o una parada en el funcionamiento de la calculadora numérica 210, o una pérdida de un canal de velocidad en el control de velocidad de
20 margen amplio, todo ello como se describe con mayor detalle
25

413984



lle más adelante, la entrada del sistema 322 de activación de válvulas (fig. 4) es conmutada por medio de unos conmutadores 528, pasando de los reguladores automáticos correspondientes a los bloques 50, 52 (fig. 1) o 220, 222 (fig. 2) a quedar bajo el control del regulador manual 516. De esa manera se efectúa la transferencia sin brusquedades entre la calculadora numérica 210 y el regulador manual 516.

De igual modo, se prevé un seguimiento en la calculadora 210 para conmutar pasando sin brusquedades de control manual a automático de la turbina. Como antes se ha indicado, la presente disposición estructural híbrida de elementos de programación ("software") y elementos de equipo físico ("hardware") es la disposición preferida para la obtención de un mejor funcionamiento y control de la turbina y de la central con posibilidades de apoyo o protección subsidiaria. Sin embargo, es posible realizar otras disposiciones híbridas dentro del campo de aplicación del presente invento.

SISTEMA DE PROGRAMA "DEH"

Organización del sistema de programa DEH, bucles de control DEH y programa de tareas del control

Con referencia ahora a la fig. 6, se ilustra en ella, en forma de esquema funcional o por bloques, un sistema de control global generalizado de esta invención. El sistema de control numérico electrohidráulico (DEH),

413984



identificado por el número de referencia 1100 en la figura
2, y designado con el 1010 en la fig. 6, controla una tur-
bina de vapor 1012 (correspondiente a la turbina 10 de la
fig. 1). El sistema de control numérico electrohidráulico
5 1100 comprende una calculadora numérica 1014, correspondien-
te a la calculadora numérica 210 de la fig. 2, interconectada
con un sistema de apoyo 1016 realizado en conexionado físico.
La calculadora numérica 1014 y el sistema de apoyo 1016 es-
tán conectados a un servosistema electrónico 1018, corres-
pondiente a los bloques 220 y 222 de la fig. 2. El sistema
10 de control por calculadora numérica 1014 y el sistema de
apoyo analógico 1016 se persiguen entre sí durante las ope-
raciones de la turbina, en el caso de que se haga necesario
o conveniente efectuar una transferencia o cambio de control
15 sin brusquedades, pasando del modo de funcionamiento automá-
tico controlado por calculadora numérica a un modo de apo-
yo analógico manual, o bien del modo manual al modo automá-
tico bajo control numérico.

Como anteriormente se ha estudiado, es función
20 primaria del sistema numérico electrohidráulico (DEH) 1100
la de situar en posición automáticamente las válvulas de
toma de vapor TV1 ... TV4 y las válvulas de regulador de
velocidad GV1 ... GV8 de la turbina, en todo momento, para
mantener la velocidad y/o la carga de la turbina. La calcu-
25 ladora P2000 utiliza un programa especial, periódicamente

413984



ejecutado, denominado tarea de CONTROL, en unión de otros programas que se describirán aquí con mayor detalle más adelante.

5 Con referencia ahora a la fig. 7, un esquema funcional de bucle de control, en su forma preferida, incluye el programa de tareas de CONTROL 1020, que es ejecutado en la calculadora 1014. Unas entradas, representativas de demanda y de régimen, son dos de los parámetros de entrada aplicados al programa de control 1020 para determinar el punto de ajuste de funcionamiento o de trabajo de la turbina. 10 La demanda se expresa típicamente en revoluciones por minuto especificadas de los sistemas de turbina durante las operaciones de puesta en marcha o parada, o bien en megavatios de salida eléctrica a producir por el sistema generador 16 durante las operaciones en carga. La demanda entra en la 15 configuración de esquema de bloques de la fig. 7 por la entrada 1050 de un bloque comparador 1052.

La entrada de régimen, sea en rpm por minuto especificadas, sea en megavatios por minuto especificados, 20 según qué entrada se use en la función de demanda, se aplica a un bloque integrador 1054, donde se ejecuta un algoritmo de integración. Para limitar la acumulación de esfuerzos en el rotor del turbogenerador 10, es preciso determinar las entradas de régimen, en rpm y megavatios de carga por minuto, a fin de mantener dichos esfuerzos dentro de unos valo- 25

413984



res de seguridad. Al bloque integrador 1054 se aplica también una salida del bloque comparador 1052. El valor de la demanda se compara, en el bloque comparador 1052, con una referencia correspondiente al punto de ajuste de funcionamiento de la turbina presente o preajustado. Dicho valor de referencia es representativo del valor de rpm de punto de ajuste aplicado al sistema de turbina, o del punto de ajuste de salida en megavatios del generador, según el sistema turbogenerador esté operando en el modo de ve-
5 locidad o en el modo de carga. En la técnica ya conocida existe un integrador analógico con un número limitado de condensadores fijos de realimentación a seleccionar por un operador, que es sustituido en la presente invención por el bloque integrador 1054, que integra a un número
10 virtualmente infinito de regímenes diferentes, limitados tan sólo por la resolución de la calculadora numérica 210. La demanda y la referencia se comparan en el bloque comparador 1052, y del bloque comparador 1052 se obtiene una salida que representa la diferencia entre la demanda y la
15 referencia. Al integrador 1054 se le aplica un error de polaridad, mediante lo cual un error negativo excita al integrador 1054 en un determinado sentido y un error positivo lo excita en el sentido contrario. El error de polaridad excita normalmente al integrador 1054 hasta que
20 la referencia y la demanda son iguales o, si así conviene,



413984

hasta que guardan entre sí alguna otra relación prefijada. La entrada de régimen al integrador 1054 modifica el régimen o velocidad de integración, esto es, la velocidad a la cual la referencia o el punto de ajuste de funcionamiento de la turbina se mueven hacia la demanda introducida.

5 Las señales de entrada de demanda y de régimen pueden ser introducidas por un operador desde un teclado. También es posible generar o seleccionar entradas de régimen y demanda por medio de un equipo automático de sincronización, por medio de un equipo de sistema automático de repartición de la carga, exterior a la calculadora, por medio de otro programa de puesta en marcha automática de la turbina por calculadora, o por medio de un sistema de control de la caldera. Las entradas de demanda y de régimen en los modos automáticos de sincronismo y de control de la caldera son, de preferencia, impulsos independientes. Ahora bien, también pueden utilizarse anchuras de impulso de control de tiempo o señales de entrada analógica continuas. En el modo de puesta en marcha o arranque automático, la aceleración de la turbina viene controlada en función de unas condiciones de trabajo detectadas de la turbina, entre las que se incluyen los esfuerzos térmicos en el rotor. De igual modo, es posible controlar el régimen de adquisición de carga en función de las condiciones de trabajo detectadas de la turbina.

413984



La salida que viene del integrador 1054 es dirigida por un bloque 1060 de decisión de disyuntor. El bloque 1060 de decisión de disyuntor comprueba el estado del disyuntor principal 17 del circuito de generador, y si se va a usar el control de velocidad o el control de carga. El bloque de disyuntor 1060 toma entonces la decisión, en cuanto al uso del valor de referencia. La decisión tomada por el bloque de disyuntor 1060 se coloca en el punto más precoz o anticipado posible del programa de control 1020, con lo cual se reduce tiempo de calculadora y, como consecuencia, el ciclo de trabajo requerido por el programa de tareas de control 1020. Si el disyuntor principal 17 del circuito de generador está abierto, con lo cual el sistema de turbina se halla en control de velocidad de amplio margen, la referencia se aplica al bloque comparador 1062 y se compara con la velocidad real y efectiva del turbogenerador, en un bucle de control del tipo de realimentación. Un valor de error de velocidad procedente del bloque comparador 1062 se lleva a un bloque regulador 1068 de tipo proporcional más reposición, que se describirá con mayor detalle más adelante. El regulador 1068 de tipo proporcional más reposición da en el programa de control 1060 una función integradora, que reduce a cero la señal de error de velocidad. En la técnica ya conocida, los sistemas de control limitados a los reguladores o controla-



413984

dores proporcionales son incapaces de reducir a cero una
señal de error. Durante el funcionamiento manual no se
necesita ya una desviación o modificación del punto de
ajuste requerido, para mantener la velocidad de la turbi-
na a un valor prefijado. También se consigue una gran exac-
5 titud y precisión de la velocidad de la turbina, de tal
modo que la velocidad de la turbina se mantiene dentro de
una rpm durante decenas de minutos. La exactitud de la
velocidad es tan elevada que la turbina 10 puede sincro-
nizarse manualmente respecto a la línea de energía sin
que haga falta, como sucede típicamente, un sincronizador
exterior. A continuación, la salida del bloque regulador
1068 de tipo proporcional más reposición se pasa a trata-
miento para la activación exterior y el posicionamiento
15 de las válvulas apropiadas, de toma de vapor y/o de regu-
lador de velocidad, de la manera que se describe con ma-
yor detalle más adelante.

Si el disyuntor principal 17 del circuito
de generador está cerrado, el programa de control 1020
20 avanza pasando del bloque de disyuntor 1060 a un sumador
1072, donde la REFERENCIA actúa de variable de alimenta-
ción directa, en un sistema de control combinado de ali-
mentación directa y realimentación. Si el disyuntor prin-
cipal 17 del circuito de generador está cerrado, el siste-
ma de turbogenerador 10 está siendo cargado por la red
25

13-8-73

413984



eléctrica conectada al mismo. El modo de trabajo en el cual el generador 16 está conectado a una carga 19 por medio del disyuntor 161 es el denominado control de carga.

5 En el programa de control 1020 del sistema DEH 1100 se utiliza el sumador 1072 para comparar el valor de referencia con la salida del bucle de velocidad 1310, a fin de mantener la corrección de velocidad independiente de la carga. Una función multiplicadora tiene sensibilidad para hacer variar la carga, lo cual es recusable en el
10 bucle de velocidad 1310.

Durante el modo de funcionamiento de carga, la DEMANDA representa la acción de carga especificada del generador 16. Durante el modo de carga, la carga de potencia en megavatios ha de ser mantenida a un valor prefijado, por medio del sistema DEH 1100. Ahora bien, la
15 carga real y efectiva se modificará por medio de desviaciones en la frecuencia del sistema, con arreglo a un valor regulador prefijado. En el recuadro 1078, un valor de velocidad nominal de referencia contenido en el recuadro
20 1074 se compara con un valor de velocidad de "dos señales", representado por el recuadro 1076. El sistema de doble señal de velocidad tiene una gran fiabilidad, según se verá aquí más adelante. Una salida de la función comparadora 1078 se hace pasar por una función semejante a la
25 de un regulador o controlador proporcional, que convierte

413984



5 el valor de velocidad en unidades de referencia y está representada por un recuadro 1080 de programa de regulador proporcional. El error de velocidad procedente del regulador proporcional 1080, es puesto en proporción a los megavatios y opera como realimentación correctora sobre la referencia de megavatios de realimentación directa; es decir, el error de velocidad y la referencia de megavatios se suman en el recuadro 1072 de función de sumación, generando una señal combinada de referencia compensada en velocidad.

10

La referencia de carga compensada en velocidad se compara con los megavatios reales y efectivos, en un recuadro o función de comparador 1082. El error resultante se hace pasar luego por un regulador de tipo proporcional más reposición, representado por el recuadro 1084 del programa, para generar una realimentación correctora de megavatios. El regulador 1084 de tipo proporcional más reposición desempeña funciones análogas a las del regulador 1068, durante el control en el modo de velocidad. Los programas de regulador proporcional 1080 y de regulador proporcional más reposición 1084 se estudiarán aquí con mayor detalle más adelante.

15

20

La referencia compensada en velocidad se reajusta por medio de la variable de realimentación de megavatios multiplicativamente: esto es, se multiplican

25

413984



entre sí, en el trayecto de referencia de alimentación directa de turbina, por medio de la función de multiplicación 1086. La multiplicación se utiliza como característica de seguridad, de tal modo que si fallase una señal, por ejemplo, de megavatios, no resultaría de ello un valor grande que pudiese originar una condición de embalamiento; por el contrario, el sistema DEH 1100 conmutaría pasando a un modo manual.

El bucle de megavatios, que comprende, en parte, 1082 y 1084, puede ponerse fuera de servicio, dejando que el bucle de velocidad 1310 y la entrada de presión de impulsión 1088 controlen el sistema DEH 1100. La referencia resultante, compensada en velocidad y reajustada en megavatios, se compara luego con una representación de la presión de la cámara de impulsión, obtenida como realimentación de la entrada 1088 de presión de impulsión.

La presión de impulsión responde con gran rapidez a las variaciones de carga y de paso de vapor y, por lo tanto, da con un retardo mínimo una señal que suaviza la respuesta de salida del turbogenerador 10, por reducirse al mínimo la dinámica del retardo y la consiguiente respuesta transitoria. La entrada de presión de impulsión puede conectarse o desconectarse de la función comparadora 1090, por medio de un interruptor o conmutador.

Como forma de realización alternativa, es apli

13-8-73

413984



cable un control de alimentación directa con reajuste por
realimentación. La diferencia entre la referencia de alimenta
ción directa y la presión de impulsión es desarrollada por
la función comparadora 1090, y la salida de error de la
5 misma funciona en un bucle de control de la presión de
impulsión por realimentación. Así, el error de presión de
impulsión es aplicado a una función 1092 de regulador de
tipo proporcional más reposición, semejante en funciona-
miento al regulador proporcional más reposición de la fun-
10 ción 1084.

Entre el bloque 1092 y las válvulas de regu-
lador GV1 ... GV8 se intercala una función de caracteriza-
ción de valores, con el propósito de dar linealidad a la
respuesta de los valores. La función de caracterización
15 de valores, se utiliza en los modos de trabajo tanto auto-
mático como manual del sistema DEH 1100. La salida de la
función 1092 de regulador proporcional más reposición va
finalmente acoplada a las válvulas de regulador GV1 ... GV8
por medio de unos bucles de control de posición electrohi-
20 dráulico, realizados por medio del equipo que aquí se men-
ciona en otro lugar. La salida del regulador proporcional más
reposición 1092 produce el posicionamiento de las válvulas
de regulador GV1 ... GV8 en el modo de control de carga
para conseguir la demanda de megavatios deseada, mientras
25 se efectúa la compensación de las desviaciones de veloci-
dad, megavatios y presión de impulsión respecto de los

413984



puntos de ajuste fijados o deseados.

5 Como la presión de impulsión especialmente, y otros parámetros, pueden variar rápidamente, para prevenir súbitos cambios de posición de las válvulas de regulador GV1 ... GV8 se incluye el regulador 1092 de tipo proporcional más reposición, después de la función comparadora 1090.

10 Haciendo referencia ahora a la fig. 8, se ilustra el programa de control 1020 con las interconexiones a otros programas del sistema de programas empleado en el sistema numérico electrohidráulico (DEH) 1100. El programa 1020, periódicamente ejecutivo, recibe datos de un bloque de tareas lógicas 1110, donde se toman las decisiones de modo y otras que afectan al programa de control; de un bloque de tarea o programa de panel 1112, donde pueden determinarse entradas de operador que afecten al programa de control; de un programa 1114 sincronizador auxiliar y un programa 1116 de exploración analógica, que trata los datos de entrada a tratar. El programa de exploración analógica 1116 recibe datos del sistema de instrumentos 1118 de la central, exterior a la calculadora como se ha dicho aquí en otro lado, en forma de presiones, temperaturas, velocidades, etc. En general, el programa sincronizador auxiliar 1114 mide el tiempo para ciertos sucesos importantes y controla la determinación de secuen-

15
20
25

13-8-73

413984



cia de peticiones a ejecutar por el programa de control 1020. Un bloque 1120 de función de reloj y un programa de vigilancia o monitor 1122 regulan el régimen de sincronismo del programa sincronizador auxiliar 1114.

5 El programa de vigilancia o bloque ejecutivo 1122 proporciona asimismo un medio de controlar ciertas operaciones de entrada/salida de la calculadora y, más en general, administra el uso de la calculadora para los diversos programas con arreglo a las prioridades asignadas.

10

El programa lógico 1110 se lleva a partir de unas salidas de un programa 1124 de interrupción de contactos o secuencias de sucesos, que vigila las variables de contacto en la central de energía 1126. Entre los parámetros de contacto se incluyen los que representan el estado del disyuntor, parada automática de la turbina, estado de enganche/desenganche, estados de datos de interrogación, etc., que se describirán con mayor detalle más adelante. Dentro del programa ejecutivo 1111, las peticiones procedentes del programa de interrupción 1124 son solicitadas con y ordenadas en serie para ejecución por el programa ejecutivo 1111. El programa de control 1110 recibe también datos del programa de tareas de panel 1112, y transmite datos a las lámparas de estado y los contactos de salida 1128. El programa de panel 1112 recibe la

15

20

25

13-8-73

413984



instrucción de datos basada en unas señales de supervisión procedentes de los pulsadores 1130 del panel de operador, y transmite datos a las lámparas de panel 1132 y al programa de control 1020. El programa sincronizador auxiliar 1114 sincroniza por medio del programa ejecutivo 1111 las peticiones del programa de control 1020, el programa de exploración analógica 1116, un programa de presentación visual 1134 y un programa de intermitencias 1136. El programa de presentación visual transmite datos a las ventanillas de presentación 1138. Los detalles de los diversos programas se presentarán en forma más explícita en lo que sigue, como partes variables de la totalidad del sistema de control DEH 1100 para controlar el sistema de turbina 10.

El programa de control 1020 recibe unas cantidades numéricas que representan unas variables de procedimiento, procedentes del programa o tarea de exploración analógica 1116. Como ya se ha indicado de manera general, el programa de control 1020 utiliza los valores de las diversas variables de retroacción, que incluyen la velocidad de turbina, la presión de impulsión y la salida de megavatios, a fin de calcular la posición de las válvulas de toma de vapor TV1 ... TV4 y de las válvulas de regulador GV1 ... GV8 del sistema de turbina 10, controlando así la carga de megavatios y la velocidad de la turbina 10.

413984



Para enlazar de manera eficaz los programas de control y lógico, se usa un programa especial de interrupción 1124 en combinación con el programa lógico 1110. El programa lógico 1110 calcula todos los estados lógicos (que se estudiarán con mayor detalle más adelante) con arreglo a unas condiciones prefijadas, y transmite estos datos al programa de control 1020, donde se utiliza esta información para determinar la acción de control de posicionamiento para las válvulas TV1 ... TV4 de toma de vapor y las válvulas de regulador GV1 ... GV8. El programa lógico 1110 controla también el estado de diversas lámparas y salidas de contacto del tipo de relé, de una manera prefijada.

Un operador supervisa el sistema DEH 1100 y la turbina 10, oprimiendo para ello diversos interruptores o conmutadores de pulsador en el panel de operador 1130 e introduciendo de ese modo en la calculadora varias acciones de control o de vigilancia, o diversos valores de parámetros del sistema, para ser tratados por el programa de panel 1112. El programa de intermitencias 1136 vigila diversas condiciones dentro del sistema DEH 1100 y de la turbina 10, avisando de ese modo al operador mediante encendido intermitente de unas lámparas apropiadas, como se describirá más adelante.

13-8-73

413984



Asignaciones de prioridad de los programas

Con referencia ahora a la fig. 9, se da en ella una tabla de asignaciones de prioridad de programas, tal como se emplea en la vigilancia ejecutiva. Un programa que tenga la prioridad máxima se pasa el primero bajo control ejecutivo, si hay dos o más programas dispuestos para su paso. La función de programa de parada/iniciación tiene la máxima prioridad, y se pasa o ejecuta al ponerse en marcha la calculadora, o después de haberse parado la calculadora momentáneamente y cuando se está volviendo a poner en marcha. El programa de control 1020 es el que sigue, en orden de prioridad. A este programa de control 1020 le sigue en prioridad el programa de panel de operador 1130, que genera datos de control. El programa de exploración analógica 1116 también proporciona información al programa de control 1020, y opera a un nivel de prioridad inferior al del panel de operador 1130. El programa periódico de arranque automático de la turbina (ATS) 1140 es el que sigue en la lista de prioridad. El símbolo ATS designa el programa de arranque automático y vigilancia de la turbina, y se ilustra como programa principal de tareas 1140 en la fig. 8, para el funcionamiento del sistema DEH 1100. El programa periódico 1140 de ATS vigila las diversas temperaturas, presiones, estados de disyuntor, velocidad de rotación, etc., durante el arranque o puesta

413984



en marcha y durante la operación de carga del sistema de turbina.

El programa lógico 1110, que genera datos de control y de modos de trabajo, es el que sigue en orden de prioridad operativa. Al programa de tareas lógicas 1110
5 le sigue el programa 1134 de tareas de presentación visual, que hace uso de las salidas de aquél. Sigue luego un programa de enlace o transmisión de datos, para transmitir datos desde el sistema DEH a una calculadora exterior. A
10 continuación sigue en orden de prioridad un programa 1142 de tareas de conversión analógica de ATS, para convertir los parámetros proporcionados por el programa 1142 periódico de ATS en datos utilizables por la calculadora. A continuación va el programa 1136 de tareas de intermitencias,
15 que va seguido de un programa de pupitre del programador, el cual se usa para pruebas de mantenimiento y carga inicial de las cintas de datos. El siguiente programa es el 1144, de inscriptor de mensajes de ATS, que proporciona una salida escrita de información procedente del programa
20 1142 de conversión analógica de ATS, impresa en una máquina de escribir adecuada 1146. El siguiente programa, en la lista de prioridad, es uno de tendencia analógica/numérica que vigila los parámetros del sistema de turbina 10 y les da salida impresa o de representación gráfica, para su uso
25 y examen por el operador. Los dos programas restantes son

13-8-73

413984



para localización de averías y aplicaciones especiales.

5 En la forma de realización preferida, al programa de parada/iniciación se le da la máxima prioridad en la tabla de la fig. 9, porque ciertas funciones de iniciación deben estar terminadas antes de que el sistema DEH 1100 pueda marchar. El programa sincronizador auxiliar 1114 da un espacio de tiempo para todos los programas que no sean el de parada/iniciación, mientras está marchando el sistema DEH 1100. Por consiguiente, el programa 1114 de 10 tareas de sincronización auxiliar es el segundo, en orden de prioridad, de los programas relacionados. El programa de control 1020 sigue el tercero, en orden descendente de prioridad, puesto que las válvulas de regulador GVI ... GV8 y las válvulas de paso de vapor TV1 ... TV4 15 deben estar controladas en todo momento, mientras el sistema DEH 1100 esté en funcionamiento.

Al programa 1130 de panel de operador se le da el lugar siguiente, en orden de prioridad, a fin de facultar al operador para que ejerza un control directo e instantáneo del sistema DEH 1100. El programa de 20 exploración analógica 1116 suministra datos de entrada para el programa de control 1020 y, por lo tanto, se subordina tan sólo a la función de iniciación, la función de sincronizador, la función de control y la de operador.

25 En la forma de realización preferida, el

413984



siguiente en orden de prioridad es el programa periódico 1140 de ATS. Durante el arranque automático de la turbina, la exploración de entradas por parte del programa periódico de ATS 1140 tiene casi el mismo orden de prioridad que las
5 entradas al sistema DEH 1100. Ahora bien, en otras formas de ejecución alternativas podría reducirse la prioridad del programa 1140 de ATS sin que se produjese ningún efecto adverso considerable, debido a lo relativamente limitado de los problemas de ciclo de trabajo en el sistema de ATS.

10 El programa lógico 1110, que regula las operaciones de algunas de las funciones del programa 1020 de tareas de control, es el siguiente en orden de prioridad. Sigue en orden de prioridad el programa de presentación visual 1134, a fin de dar al operador una indicación visual
15 del funcionamiento del programa DEH 1100. El programa 1134 de presentación visual está colocado en un octavo lugar, relativamente bajo, por orden descendente de prioridad, ya que la respuesta física de un operador a una señal visual, es de velocidad limitada: de unos 0,2 a 0,5 segundos. El
20 resto de los programas son de un orden de importancia esencialmente descendente, en la forma de realización preferida. En otras formas o variantes de ejecución de la invención, es posible emplear distintas asignaciones de prioridad para
25 los programas descritos u otros similares; pero en general

413984



la lista de prioridad descrita es preferida por las diversas razones presentadas.

En la fig. 13 se ilustra una serie de programas de interrupción, que interrumpen la acción de la calculadora y funcionan fuera de las asignaciones de prioridad de tareas interrumpiendo el proceso o tratamiento. Uno de estos programas, en la fig. 8, es el programa 1124 de interrupción de contactos o sucesos en secuencia, que suspende el funcionamiento de la calculadora por un brevísimo período o intervalo de tiempo, para tratar una interrupción. Entre los pulsadores 1130 de panel de operador y el programa 1112 de tareas de panel, se utiliza un programa 1156 de interrupción de panel para señalar cualquier cambio que haya en los pulsadores 1130 de panel de operador. Entre los pulsadores 1130 de panel de operador y el programa 1112 de tareas de panel va directamente conectado un programa 1158 de interrupción de válvulas, para funcionar durante una prueba de válvulas, o en el caso de situaciones de contingencia de válvulas que se estudiará más adelante. Los diversos programas de interrupción se analizarán con mayor detalle también más adelante.

El programa 1020 de tareas de control de la fig. 7 pide también una sub-rutina 1068 de regulador de tipo proporcional más reposición, como antes se ha des-

413984

37



5 El programa auxiliar de sincronismo 1114 gobierna también un programa 1148 de tendencia analógica/numérica. El programa 1148 de tendencia analógica/numérica registra un juego de variables, además de las variables del programa periódico de ATS 1140.

10 Subordinada a una serie de otros programas hay una sub-rutina 1150 de CCI de central, en la que CCI simboliza las entradas de cierre de contactos. La sub-rutina 1150 de CCI de central responde a las variaciones en el estado de los contactos de la central, transmitidas por el conexionado 1126 de la central. En general, los contactos de la central son vigilados por la sub-rutina 1150 de CCI tan sólo cuando se detecta un cambio en el estado de los contactos. Este plan conserva el ciclo de trabajo de la calculadora, en comparación con la vigilancia periódica de CCI. Ahora bien, como se describe aquí más adelante, es posible emplear para una exploración de CCI otros elementos activadores o disparadores que incluyan la demanda por parte del operador.

20 El programa de control 1020 pide, como subordinado a él, un programa 1152 de bucle de velocidad y un programa 1154 de ajuste previo (PRESET) o proporcional más reposición. Como subordinado al programa 1122 de vigilancia ejecutiva hay un programa 1160 de errores de tarea o programación. En unión del programa 1120 de reloj,

413984



una referencia dinámica o de punto de ajuste, procedente de una fuente de demanda, aplicada a una entrada 1210 de una función de diferencia 1212. La función de diferencia 1212 compara la entrada con el valor real y efectivo del procedimiento controlado. Una salida de la función de diferencia 1212 se lleva a una función de ganancia 1216 y a una entrada de un integrador, o función de integración, 1218. Una salida del integrador 1218 viene limitada por el programa según lo representado por la función 1220 para impedir el final de la reposición. En un sistema analógico, la reposición cumulativa viene provocada por la saturación del amplificador integrador y, por lo tanto, el bloqueo de ese amplificador hasta que se descarga el condensador integrador conectado al mismo. En un sistema de programación, se impide más fácilmente la reposición cumulativa, por la naturaleza inherentemente numérica de la calculadora, que permite la limitación de cualquier número expresado en dígitos, a un valor prefijado.

Las salidas procedentes de la función de ganancia 1216 y del integrador 1218 y la función 1220 de prevención de la reposición cumulativa se suman, en una función de sumación 1222. Una salida de la función de sumación 1222 viene limitada por otra función 1224, que de ese modo limita una salida de la misma dentro de un intervalo de salida útil, que se lleva a una función de

413984

tratamiento 1226.

Haciendo referencia ahora a la fig. 12, se muestra en ella una representación gráfica de un esquema de circulación para el programa de regulador proporcional más reposición (PRESET). En la forma de realización preferida, el programa de PRESET se diseña de tal modo que una llamada procedente del programa de control 1030 da una lista de variables necesaria para valorar la salida del regulador o controlador 1068. La estructura de la sub-rutina viene indicada por el enunciado que se da a continuación en lenguaje Fortran:

Sub-rutina PRESET (ERR, ERRX, G, TR, HL, XLL, RES, PRES)

Las variables de la ecuación indicada se definen como sigue:

15	<u>Variables FORTRAN</u>	<u>Equivalencias en lenguaje llano</u>
	ERR	- la entrada de corriente
	ERRX	- la última entrada
	G	- el regulador (controlador) de ganancia proporcional
20	TR	- el tiempo de reposición del regulador
	HL	- el límite superior del regulador
	XLL	- el límite inferior del regulador



413984

(cont.)

<u>VARIABLES FORTRAN</u>	<u>EQUIVALENCIAS EN LENGUAJE LLANO</u>
RES	- la salida entera del regulador
5 PRES	- la salida total del regulador

Volviendo a hacer referencia a la fig. 12, se representa en ella un esquema de circulación de la operación de sub-rutina 1068 de PRESET, y se utiliza la notación normal en Fortran. La sub-rutina 1068 de PRESET valora primero la parte entera de la salida de regulador, con arreglo a la ecuación siguiente:

$$Y(N) = Y(N - 1) + \frac{DT}{2*TR} * [X(N) + X(N - 1)] \quad (1)$$

15 La sub-rutina 1068 guarda a continuación la entrada de corriente ERR en el lugar de almacenaje ERRX 1250, para la siguiente petición a la sub-rutina 1068. La salida entera RES 1252 del regulador se comprueba a continuación, contra el límite superior 1254 y el límite inferior 1256, para
 20 impedir el final de reposición. La parte proporcional de la salida se calcula y se suma a la parte entera de la salida del integrador 1218, formando la salida total PRES 1258. Esta salida PRES 1258 se comprueba contra el límite superior 1260 y el límite inferior 1262, después de lo
 25 cual la sub-rutina 1068 de regulador proporcional más re-

413984

37



posición vuelve al programa de control 1020.

Como se ha considerado anteriormente, la sub-rutina 1068 de regulador proporcional más reposición es utilizada por el programa 1020 de tareas de control durante tres fases distintas de funcionamiento del sistema de turbina. Durante el arranque o puesta en marcha del sistema de turbina 10, el programa de sub-rutina 1068 de regulador proporcional más reposición (PRESET) se usa como regulador de velocidad, a fin de regular y mantener la velocidad de la turbina 10 a un valor prefijado, o a un régimen de aceleración prefijado. A causa de la función de integración del programa de sub-rutina 1068 del regulador proporcional más reposición, la velocidad del sistema de turbina 10 puede mantenerse dentro de una variación máxima de 1 rpm. Asimismo, para que un operador mantenga la velocidad del sistema de turbina 10 a un valor prefijado, no se necesita la señal de entrada de neutralización de error, típica de un sistema puramente proporcional. Por lo tanto, la referencia y la variable controlada (ambas, en este caso, de velocidad de la turbina) serán iguales. El programa de sub-rutina 1068 de regulador proporcional más reposición se usa también en el bucle de realimentación de megavatios del regulador, y en el bucle de realimentación de presión de la cámara de impulsión, del regulador.

13-8-73

413984



Algoritmo del integrador de reposición.

5 Para efectuar la función matemática de integración en una calculadora numérica, es conveniente utilizar métodos numéricos para aproximarse al valor exacto de la integral. En la forma de realización preferida, el algoritmo utiliza la regla trapezoidal para la integración y es de formato sencillo, requiere poco espacio de almacenaje en la calculadora y se ejecuta con gran rapidez. El algoritmo utiliza un solo valor de entrada de historial pasado, para lograr un alto grado de exactitud.

10 En la calculadora se utiliza el algoritmo siguiente:

15
$$Y(N) = Y(N - 1) + \frac{DT}{2*TR} [X(N) + X(N - 1)] \quad (2)$$

A continuación se da la definición de los términos de la ecuación anterior:

(N) - el instante en curso de tiempo real

(N-1) - el último instante de tiempo real

20 DT - el intervalo de muestreo, o espacio de tiempo entre valoraciones del algoritmo de integración; en el sistema de control DEH es, normalmente, de 1 segundo

25 TR - el tiempo de reposición del regulador, en segundos

413984



X(N) - el valor en curso de la entrada (en un momento
dado)

X(N-1) - el último valor de la entrada

Y(N) - el valor en curso de la salida

5 Y(N-1) - el último valor de la salida

Sub-rutina del bucle de velocidad

Haciendo referencia ahora a la fig. 13, se muestra en ella con mayor detalle un programa 1310 de bucle de velocidad que, funcionalmente, forma parte de la disposición representada en la fig. 7. El programa 1310 de bucle de velocidad (SPDLOOP) calcula los datos requeridos en el funcionamiento del bucle de retroacción de velocidad que comprende, como se indica en la fig. 7, la referencia de velocidad nominal 1074, la velocidad real y efectiva 1076 de la turbina, la función comparadora 1078, el regulador proporcional 1080 y la función de sumación 1072. La sub-rutina 1310 de bucle de velocidad es pedida por el programa de control 1020 para efectuar funciones de bucle de control de velocidad. En la fig. 13, se ilustra con detalle el funcionamiento del regulador o controlador proporcional 1080. La salida de error que viene de la función comparadora 1078 se lleva a través de una función 1312 de banda muerta. En el cálculo van incluidas una constante de proporcionalidad (GR1) 1314 y una función de límite alto

413984



o superior (HLF) 1316.

La sub-rutina de bucle de velocidad (SPDLOOP) es pedida durante el funcionamiento con el modo de control de velocidad y en el modo de control de carga. La forma de sub-rutina reduce las necesidades de espacio de almacenaje en la memoria 214, con lo cual se reducen los gastos de calculadora numérica 210 necesarios para hacer funcionar el sistema DEH 1100.

La función de banda muerta 1312 permite impedir que cualquier pequeña variación debida a ruido o perturbación en la señal de error de velocidad generada por la función comparadora 1078, modifique la velocidad del sistema de turbina 10. Los sistemas que carecen de banda muerta responden continuamente a pequeñas variaciones de naturaleza aleatoria, que dan lugar a esfuerzos indebidos en la turbina 10 y a un laborioso e innecesario funcionamiento del sistema de control. Sin la banda muerta 1312 se produciría una incesante inestabilidad en torno a la velocidad nominal elegida, debido a la ganancia del sistema. La ganancia 1314 de regulación de velocidad (GRL) se ajusta para que dé una corrección de velocidad a la potencia de salida nominal, para un determinado error de velocidad de la turbina. La función 1316 de límite superior (HLS) proporciona un factor de corrección de velocidad máxima.

413984

31



La velocidad 1076 de la turbina se deriva de tres transductores. La disposición transductora numérica de velocidad de la turbina es la expuesta con mayor detalle de elementos y realización del sistema en la solicitud de patente española Nº 414061 de la que también es titular el cesionario de esta solicitud. En términos resumidos, en la forma de realización preferida para determinar la velocidad de la turbina, el sistema comprende tres señales de velocidad independientes. Estas señales de velocidad consisten en: una señal numérica muy precisa, generada por una circuitería electrónica especial partiendo de un captador magnético; una señal analógica precisa, generada por un segundo captador magnético independiente; y una señal analógica de instrumento supervisoria, procedente de un tercer captador independiente. El sistema DEH compara estas señales, y mediante unas decisiones lógicas elige la señal apropiada a utilizar para el control de velocidad o para el control de carga compensado en velocidad. Este proceso de selección pasa o conmuta la señal utilizada por el sistema de control DEH 1100 desde la señal numérica de canal a la señal analógica precisa de canal, o viceversa, en unas condiciones dinámicas prefijadas. El sistema detector de velocidad se describe con mayor detalle más adelante. Para mantener las válvulas de regulador de velocidad en una posición fija durante esta conmuta-

413984



ción de la señal de velocidad, el programa de control
1020 utiliza la sub-rutina 1310 de bucle de velocidad
y efectúa un cálculo para mantener una transferencia de
señales de velocidad sin brusquedades, como se analizará
5 con mayor detalle más adelante.

Haciendo referencia ahora a la fig. 14, se
muestra en ella con mayor detalle el diagrama de flujo
de la sub-rutina 1310 del bucle de velocidad (SPDLOOP).
Dos enunciados en Fortran significan las operaciones del
10 diagrama de flujo del programa 1310 de sub-rutina de bu-
cle de velocidad. Estos enunciados son:

CALL SPDLOOP

REF1 = REFDMD + X

Las variables del diagrama de flujo 1310 se
15 definen como sigue:

Variables FORTRAN	Equivalencias en lenguaje llano
WR	- la referencia de velocidad elegi- da para la turbina
20 WS	- la velocidad de la turbina
TEMP	- variable de lugar de almace- naje transitorio
SPDB	- la banda muerta de velocidad
GR1	- la ganancia de regulación de 25 velocidad

413984

37



(cont.)

VARIABLES FORTRAN Equivalencias en lenguaje llano

- X - el valor de velocidad
- HLF - la función de límite superior

5 Programa de sub-rutina de entradas de cierre de contactos de la central (PLANTCCI)

Una sub-rutina 1150 de entradas de cierre de contactos de central, como la indicada en la fig. 8, explora todas las entradas de contactos ligadas a la calculadora mediante el conexionado de central1126 y pone unas imágenes de datos lógicas de las mismas en unas áreas designadas dentro de la memoria 214 de la calculadora 210. La exploración de CCI tiene lugar a petición, por ejemplo, del programa de secuencia de sucesos. En la fig. 15 se muestra un esquema funcional o por bloques de las diversas funciones de la sub-rutina 1150 de entradas de cierre de contactos de la central. La sub-rutina 1150 de entradas de cierre de contactos de la central se utiliza también al aplicarse energía a la calculadora 210, o cuando en un panel de mantenimiento 1410 se oprimen los pulsadores de reposición-marcha-reposición de la calculadora. En estas circunstancias, se pide un programa especial 1412 de rutina de vigilancia de energía conectada. Este programa pone en ejecución el programa de tareas 1414 de parada/iniciación anteriormente descrito, quien a su vez pide la sub-rutina 1150 de entradas de cierre de contactos de la central para

413984



la ejecución del procedimiento de iniciación.

El operador puede pedir también la sub-rutina 1150 de entradas de cierre de contactos de la central por medio del programa sincronizador auxiliar 1114, si así
5 conviene, de tal modo que se realiza una exploración periódica del sistema entero de CCI de la calculadora para comprobar el estado de uno cualquiera o de un grupo de los relés del sistema de CCI.

Programa de puesta en marcha automática de la turbina, para
10 unidades alimentadas con combustible fósil

Una calculadora numérica es un poderoso instrumento para conseguir un control mejor y más eficaz de un turbogenerador. Para aprovechar la capacidad de la calculadora para explorar, memorizar, calcular, tomar de-
15 cisiones y efectuar acciones ejecutivas, el programa de calculadora ha de ir más allá que las instrucciones de funcionamiento y manejo, normalmente suministradas con cada turbina, explorando o analizando para ello unos parámetros adicionales, si es necesario, determinando las tendencias
20 en las variaciones de los parametros y efectuando cálculos que sobrepasan la capacidad y las obligaciones de un operador humano.

El objetivo general de las recomendaciones de puesta en marcha y variación de carga es la protección
25 de las piezas o partes de la turbina contra los agrietamien

31
413984



tos de fatiga térmica producidos por variaciones de la temperatura interna. En las turbinas de gran tamaño, de proyecto actual, el elemento crítico es el rotor de alta presión, debido a su diámetro relativamente grande y gran número de variaciones de temperatura en la zona de la primera etapa, producidas durante los arranques y los cambios de carga. Los procedimientos operativos suministrados con cada turbina, en forma de gráficas, dan por supuesto que la máquina está normalmente pasando de un estado de régimen permanente a otro, durante un período transitorio, y que la transición entre los dos estados seleccionados ha de efectuarse en un tiempo determinado, para mantener los esfuerzos térmicos por debajo del límite admisible.

Con el auxilio de la calculadora, es posible calcular los esfuerzos térmicos en el rotor, minuto a minuto, basándose en la temperatura efectiva de primera etapa, proporcionada por un termopar. No es ya, pues, necesaria la suposición de hallarse la turbina en una condición de régimen permanente. Una vez calculado el esfuerzo térmico (o la deformación) es posible compararlo con el valor admisible, y utilizar la diferencia como índice de la variación admisible de la temperatura en primera etapa, traducida en el programa de la calculadora en forma de variación de velocidad, o de carga, o de régimen de variación de velocidad o carga.

413984



Utilizando la memoria de la calculadora, es posible almacenar los valores de algunos parámetros para su empleo en la estimación de sus futuros valores o regímenes de variación respecto al tiempo, los cuales se usan a su vez para adoptar medidas correctoras antes de llegar a puntos o situaciones de alarma o de disparo (desenganche). Tal es el caso con las diferencias de temperatura y dilataciones diferenciales en el metal.

La vibración en los cojinetes es otro de los parámetros para los cuales se utiliza la capacidad de la calculadora en la adopción de decisiones lógicas. Cada cojinete se halla bajo estrecha supervisión, y cuando una de las vibraciones alcanza un límite de alarma, se estudia su comportamiento y se toma una decisión con arreglo al valor futuro estimado de las vibraciones, y según se trate de una función creciente, constante o decreciente. También se intercala un sistema de prioridades, debido a la posibilidad de que dos o más cojinetes puedan hallarse en un estado de alarma diferente.

Según el enfoque utilizado en el programa, las principales zonas o secciones de control son los cálculos de esfuerzos (o deformaciones) en el rotor, el subprograma P n° 01, y su pareja o correspondiente de adopción de decisiones: el subprograma P n° 04. Estas permitirán a la unidad de turbina rodar con una aceleración re-

413984



lativamente alta, hasta que el valor anticipado de fatiga o deformación u otros parámetros gobernantes predigan que se van a alcanzar valores límite en un futuro próximo. En tonces se selecciona un régimen inferior y, si persiste la condición, se genera una retención o mantenimiento de la velocidad.

En lo que sigue se describe el programa de arranque automático de la turbina (ATS) en el sistema DEH-P2000.

El programa de ATS se almacena y ejecuta en la misma unidad central de tratamiento de datos (CPU) que los programas básicos del DEH. Ambos programas operan directamente de modo conjunto, por medio de lugares de núcleo compartidos. También comparten el mismo equipo físico y la misma programación de entrada/salida que se necesita para comunicar con el mundo exterior: es decir, para leer y activar contactos. El programa de ATS es capaz de hacer rodar la turbina desde la velocidad del mecanismo de iniciación de rodadura o puesta en marcha hasta la velocidad de sincronismo. Comprobará las condiciones previas a la rodadura, determinará si se necesita un período de preparación o acondicionamiento térmico, hará la transferencia de las válvulas de toma de vapor (TV) a las válvulas de regulador de velocidad (GV), comprobará las condiciones previas al sincronismo y deja-

413984



rá que el sincronizador automático ponga al turbogenerador en línea o, de otro modo, permitirá que tenga lugar la sincronización, esto es, bajo un control preciso del bucle de velocidad.

5

Durante el funcionamiento de la turbina, sea durante el período de aceleración, sea bajo carga, la calculadora vigilará los diversos parámetros de la turbina, comparará sus valores con unos valores límite y dará salida a mensajes escritos, informando al operador acerca de las condiciones de la máquina, con el fin de orientarlo en el manejo o funcionamiento de la unidad.

10

Los modos de operación son los de control de ATS y supervisión de ATS. Si los pulsadores, tanto de "arranque automático de la turbina" como de "desconexión de la supervisión de la turbina" no están iluminados, el programa de ATS está en supervisión de ATS, y salen mensajes impresos. La acción de oprimir el pulsador de "arranque automático de la turbina" pone al programa de ATS en la situación de control de ATS. La acción de oprimir el pulsador de "desconexión de la supervisión de la turbina" suspende la salida de mensajes impresos mientras los programas de ATS están aún en marcha. Si se oprime por segunda vez el pulsador de "desconexión de la supervisión de la turbina", salen impresos todos los mensajes de alarma en curso en un momento dado, y todos los

25

13-8-73



413984

mensajes sucesivos.

En la situación de control de ATS, la calculadora controlará la unidad (el turbogenerador) desde la aplicación del mecanismo de iniciación de arranque hasta el sincronismo y la aplicación de carga inicial.

5

La calculadora efectúa las valoraciones y acciones de control siguientes:

a) A cada minuto, antes de empezar a rodar el mecanismo de iniciación de arranque, el programa comprueba, y compara con los límites admisibles, los siguientes parámetros: temperatura de toma de vapor; dilataciones diferenciales, diferencias de temperatura del metal, vacío, temperaturas de escape, excentricidad, temperaturas del metal de los cojinetes, posiciones de válvulas de purga.

10

b) Solicita un cambio en las condiciones del vapor de toma o estrangulamiento, para adaptar la temperatura del vapor de la cámara a la temperatura del metal dentro de -50 y +100°C.

15

c) Permite a la turbina rodar separándose del mecanismo de iniciación de rodaje o arranque.

20

d) Fija el objetivo de velocidad, y selecciona la aceleración en el regulador de DEH.

e) Determina el tiempo de acondicionamiento térmico a las 2200 rpm y va contándolo en sentido inverso.

25

f) Acelera la turbina hasta las 3300 rpm, a



413984

regímenes controlados.

g) Ordena al regulador de DEH cambiar de control por toma de vapor a control por regulador de velocidad.

5 h) Acelera la turbina hasta la velocidad de sincronismo.

i) Permite al sincronizador automático y al regulador de DEH poner o conectar en línea la turbina y aplicar una carga mínima.

10 j) Pide una "retención de carga" o mantenimiento en la carga inicial, si es necesario por las condiciones térmicas de la turbina.

Bajo la supervisión de ATS, la función de la calculadora se limita a vigilar los diversos parámetros y generar unos mensajes apropiados para ayudar al operador en el control de la turbina. El cálculo de fatigas o deformaciones se efectúa continuamente, para informar al operador acerca de la condición térmica del rotor. Es misión del operador entonces adaptar o poner acordes las temperaturas del vapor y del metal, establecer demandas, seleccionar regímenes de variación de velocidad y de carga, determinar las necesidades de acondicionamiento térmico y adoptar todas las medidas secuenciales necesarias para llevar la turbina a su velocidad y cargarla.

25 Todos los programas se piden periódicamente,

13-8-73

413984



y marcharán o se desarrollarán hasta su terminación según las condiciones fijadas por un programa de prioridad superior, cuando lo haya. El programa P15 determina la acción apropiada a ejecutar en un orden operacional sucesivo. Los programas P01 a P14 inclusive verifican los parámetros de la turbina y el generador. Calculan las temperaturas y deformaciones del rotor en la zona de la cámara de impulsión; calculan asimismo las diferencias de temperatura anticipadas en el metal y las dilataciones diferenciales consiguientes. Según el modo de funcionamiento, estos programas fijan, o informan para que se fijen, nuevas demandas o retenciones del sistema DEH.

Lista de programas

- 15 P01 Determinación de las condiciones térmicas del rotor.
P02 Cálculo y supervisión periódicos de las diferencias de temperatura y dilatación diferencial anticipadas en las paredes de la caja de vapor y en las bridas y pernos.
- 20 P03 Supervisión del funcionamiento del mecanismo de iniciación de rodadura.
P04 Control de esfuerzos del rotor en primera etapa.
P05 Supervisión de la excentricidad y la vibración.
P06 Supervisión de la temperatura del metal de la turbina.
- 25 P07 Control de la referencia de velocidad de EH.

413984



- P08 Supervisión de las temperaturas de los cojinetes.
- P09 Supervisión del generador.
- P10 Supervisión de estado de prensaestopas, escape de la turbina y vacío del condensador.
- 5 P11 Supervisión de válvulas de purga y cálculo de la dilatación diferencial anticipada.
- P12 Supervisión de las temperaturas de escape de baja presión.
- P13 Acción en caso de fallo en detectores.
- 10 P14 Cálculo y regulación del tiempo de acondicionamiento térmico.
- P15 Secuencia de aceleración.

En el funcionamiento y manejo de una central eléctrica generadora de energía, es a menudo conveniente tener, en el emplazamiento de la central, medios de simular el comportamiento de una turbina o un turbogenerador, para adiestramiento de los operadores de turbinas y con fines de mantenimiento del sistema de control. En los términos resumidos, un simulador de turbina proporciona dinámicamente el tipo de funciones necesarias para generar señales de realimentación de turbina o de turbogenerador para el sistema de control de la turbina, en respuesta a unas salidas de señal de control procedentes del sistema de control. Estos medios de simulación emplazados en la central han de distinguirse de los simuladores de central

413984



o de turbina de que suele disponerse en la actualidad,
utilizables en lugares distantes de la central con fines
distintos al de adiestramiento de operadores de turbina
o mantenimiento de los sistemas de control. Estos últimos
5 simuladores pueden preverse en forma de modelos de progra-
mación o "software" ejecutables en unas calculadoras numé-
ricas en el lugar distante. En algunos casos, se dispone
de simuladores de calculadora analógica o numérica, portá-
tiles o fijos, en el lugar de emplazamiento de la central,
10 en forma de partes de equipo distintas del equipo de con-
trol de la turbina. En el caso usual, este simulador in-
terior de la central es utilizable durante los períodos
en que la turbina está fuera de línea, para comprobación
del sistema de control antes de ponerla en funcionamiento
15 en línea.

Es conveniente en general disponer de un
simulador de turbina o turbogenerador que pueda utilizarse
fuera de línea y durante el funcionamiento de la turbina en
línea, para verificación y mantenimiento del sistema de
20 control y/o adiestramiento del personal operador de la tur-
bina. La necesidad de estos medios de simulación en línea
aumenta con la complejidad del sistema de control. Por ejem-
plo, la necesidad de los medios de simulación en línea aumen-
ta con la complejidad del control de la turbina que resulta
25 factible y conveniente desde puntos de vista económicos y de

13-8-73

413984



fiabilidad con el empleo de reguladores de control numérico, o mandos de control por calculadora numérica. En todo caso, la simulación con fines de adiestramiento de operadores de turbina o mantenimiento del sistema de control, respecto a la turbina instalada y en funcionamiento, han de poder realizarse sin interrupción de la generación de energía eléctrica, debido a los costos de detención de la turbina y posibles pérdidas de ingresos por generación de energía.

5

10 En la realización física de la simulación de turbogenerador en línea del presente sistema, el control del funcionamiento de la turbina cambia pasando del regulador principal numérico o calculadora al regulador manual de apoyo, cuando el operador decide hacer marchar

15 la calculadora numérica en el modo de adiestramiento por medio del simulador. De preferencia, el cambio al modo de control manual de apoyo se hace sin brusquedades, como se ha descrito aquí en otra parte. Por consiguiente, la generación de la energía eléctrica continúa al pasar

20 el regulador numérico al modo de simulación y adiestramiento y funcionar en él.

Una vez puesto el regulador numérico en el modo de simulación y adiestramiento, se hace que ciertas partes del regulador numérico funcionen como simulador que responde a las acciones de control generadas por

413984



las partes del regulador numérico que controlan la turbina, y engendra unas señales operativas que se aplican como entradas a las partes del regulador numérico que controlan la turbina. Además, el regulador continúa siendo capaz de responder a las partes del panel de operador que normalmente tienen enlace con el regulador numérico automático. La característica de simulación y adiestramiento permite el uso del panel de operador y de la mayoría del sistema DEH en todo momento, sin afectar a la capacidad del control manual de apoyo para situar en posición las válvulas de la turbina y controlar el funcionamiento de la turbina. Por consiguiente, el sistema principal de control de la turbina puede utilizarse en particular para adiestramiento de operarios y técnicos, estudios de simulación, ajuste o sintonía del sistema de control y para demostraciones.

Mas en particular, el funcionamiento de un conmutador de entretenimiento/prueba situado en el panel del operador hace que un programa de mantenimiento y prueba 1810 (fig. 8) conmute el sistema de control principal por calculadora pasándolo al modo de simulación, y transfiera el control de la turbina al regulador manual de apoyo. El programa 1810 de mantenimiento y prueba se pone en ejecución como parte del programa de tareas lógicas.

En general, en el modo de simulación, las salidas del regulador se aplican a un modelo de programa-

413984



ción, y ese modelo genera a su vez unas señales que simulan la respuesta de la turbina a las salidas del regulador. En la presente forma de realización, el bucle de control de velocidad y el bucle de control de carga están abarcados en el funcionamiento del simulador.

5

Como se representa en la fig. 17, la salida SPDSP de demanda de velocidad se aplica a un bloque de función de retardo contenido en el bloque de simulador 2110, y el bloque de función de retardo genera a su vez

10 una señal de realimentación simulada SIMWS. La función de transferencia del retardo de primer orden se aproxima a la respuesta de inercia de la turbina al generar la señal de realimentación de velocidad simulada. El bloque de decisión OPRT determina si el sistema de control está

15 en el modo de simulación o en el modo automático, a fin de determinar si es la señal de velocidad real WS o la señal de velocidad simulada SIMWS la que ha de aplicarse al bloque generador de error de velocidad contenido en el bucle de control de velocidad. El programa de mantenimiento y prueba, por consiguiente, aplica o desaplica el bucle

20 de realimentación de simulador y, de modo correspondiente, aplica o desaplica el bucle de realimentación efectivo de la central en el sistema de control de velocidad, con arreglo a la posición del conmutador de mantenimiento y prueba que hay en el panel del operador.

25

413984



En el bucle de control de carga, como se indica en la fig. 18, la referencia REF2 de megavatios se aplica a un bloque simulador en el que hay una función de retardo que aproxima la respuesta de la tubería y del generador al emitir una señal simulada de megavatios SIMMW. Un bloque de decisión OPRT determina si es la señal de megavatios simulada SIMMW o la señal real de megavatios MW de la central la que ha de aplicarse en el bucle de control de megavatios del sistema de control de carga. Como sucede en el bucle de control de velocidad, el programa de mantenimiento y prueba determina si el sistema se halla en el modo de simulación o en el modo de control automático, para determinar a su vez el resultado de la ejecución del bloque de decisión OPRT. De igual modo, en el bucle de presión de impulsión, la señal de punto de ajuste de las válvulas se aplica a una función de transferencia, en un bloque simulador, que se aproxima a la respuesta del turbogenerador produciendo una señal de presión de impulsión simulada para el vapor de la cámara de impulsión de la turbina. De nuevo un bloque de decisión OPRT determina si es aplicable el modo de simulación, esto es, si es la señal de presión de impulsión simulada SIMPI o la señal PI de presión de impulsión real la que se ha de aplicar en el bucle subordinado de control de presión de impulsión, del sistema de control de carga. En el modo de simulación, las señales simuladas

413984



de megavatios y de presión de impulsión sustituyen a las
señales efectivas de retroacción de la central en el
desarrollo de errores de megavatios y de presión de im-
pulsión, para uso en el funcionamiento del sistema de
5 control de carga. En ambos sistemas de control, el de
carga y el de velocidad, se generan unas salidas de bucle
de control, como en el caso del funcionamiento real del
bucle de control.

FUNCION DE RETARDO DE PRIMER ORDEN

10 Teoría

La función de transferencia de retardo de
primer orden es una componente más o menos normal de los
sistemas de control. Proporciona una señal de salida que
es la versión, retardada en el tiempo, de la señal de en-
15 trada. La constante de tiempo T del retardo de primer or-
den es la medida del tiempo de retardo en segundos produ-
cido por dicho retardo. Aproximadamente a $5T$ (esto es,
cinco constantes de tiempo) después de hacer la entrada
un cambio en escalón, la salida ha reproducido esencialmen-
20 te este cambio.

Los usos de la función de retardo de pri-
mer orden varían algo. En ciertos casos, sirve como filtro
para reducir o eliminar impulsos agudos o de ruido aleato-
rios en las señales. En otros casos, el retardo de primer
orden es útil para simular una respuesta ya conocida de
25

13-8-73

413984



diversos dispositivos o partes de sistemas. En esta última
situación es en la que el retardo de primer orden se usa
en la aplicación al sistema DEH. Cuando el conmutador de
mantenimiento/prueba se pone en la posición de prueba, co-
5 locando así al sistema DEH en el modo de funcionamiento
correspondiente a simulación o adiestramiento, se envían
unas variables de calculadora apropiadas a las funciones
de transferencia de retardo de primer orden. La salida
de estas funciones representa unas entradas analógicas
10 simuladas, tales como las de velocidad de la turbina, pre-
sión de impulsión y megavatios.

Para efectuar la función matemática de un
retardo de primer orden en una calculadora, es necesario
utilizar métodos numéricos para aproximarse a la función.
15 Se dispone de cierto número de algoritmos, que tienen cada
uno ciertas ventajas y desventajas. Aun cuando la regla
trapezoidal es la que da la respuesta de retardo de primer
orden más precisa o de mayor exactitud, exige un espacio
adicional de almacenaje para el historial pasado de la en-
20 trada. Por esta razón, en el sistema DEH se utiliza la
regla rectangular; requiere menor espacio de almacenaje
y, aun cuando no es tan precisa como la regla trapezoidal,
no se necesita tanta exactitud en el empleo de un retardo
de primer orden en relación con un sistema simulador y de
25 adiestramiento.

413984



El algoritmo utilizado por el sistema DEH para valorar el retardo de primer orden viene dado por la ecuación siguiente:

$$5 \quad ZOUT (N) = \frac{T}{T+DT} *ZOUT (N-1) + \frac{T}{T+DT} *ZIN (N) ,$$

cuyos términos se definen a continuación:

- (N) - el instante en curso de tiempo real
- (N-1) - el último instante de tiempo real
- DT - el intervalo de muestreo, o espacio de tiempo entre valoraciones del algoritmo de retardo de primer orden; en el sistema DEH es normalmente de 1 segundo
- 10
- T - el tiempo de retardo de primer orden, en segundos
- 15
- ZIN (N) - el valor en curso de la entrada
- ZOUT (N) - el valor en curso de la salida
- ZOUT (N-1) - el último valor de la salida.

Para usar el algoritmo de la ecuación precedente, el sistema DEH está organizado de manera que los parámetros (DT y T), la variable de entrada (ZIN (N)) y las variables de salida (ZOUT (N) y ZOUT (N-1)) están en áreas comunes ya conocidas de almacenaje. El propio algoritmo se programa en forma de función de enunciado Fortran, de manera que el uso del retardo de primer orden

20

25

13-8-73

413984



queda limitado al programa de tareas de CONTROL. Para valorar la función de transferencia de retardo, sólo es necesario escribir la expresión de la función de enunciado en línea en el lugar apropiado del programa de CONTROL.

5 En los párrafos que siguen se dan algunos ejemplos. El retardo de primer orden se programa como función de enunciado Fortran para reducir al mínimo los requisitos de gastos generales de almacenaje que se originarían en el caso de programarse como sub-rutina.

10 FOLAG (ZIN, TDELAY, ZOUT) = (TDELAY*ZOUT+ZIN)/(TDELAY+1,0)

Este enunciado expresa el algoritmo de la ecuación de retardo de primer orden dada últimamente, con cierta reagrupación de términos y sustitución de 1,0 por el intervalo general de muestro (DT), puesto que el programa de control se desarrolla a intervalos de 1 segundo. Los argumentos ficticios (ZIN, TDELAY y ZOUT) representan las variables de entrada, tiempo de retardo y salida necesarias para valorar el retardo de primer orden.

20 En el funcionamiento del sistema de control en el modo de simulación, la función de retardo es sintonizable, dando una inercia sintonizable que se aproxima de modo razonable a la respuesta real de la turbina. El simulador, por consiguiente, da una simulación lo bastante precisa para servir para la localización de averías

25
13-8-73

413984



en la calculadora, mantenimiento del sistema de control, adiestramiento de operadores, etc.

5 Para pasar la turbina al control manual de apoyo cuando se acciona el conmutador de mantenimiento y prueba para colocar el regulador numérico en el modo de simulación, se emplean unos mecanismos de transferencia primario y de apoyo. En el primer caso, el conexaso físico detecta la posición del conmutador de mantenimiento y prueba, dando lugar al cambio o conmutación de control. Si por alguna razón falla el sistema de conexaso físico, la calculadora está programada para detectar la posición del conmutador de mantenimiento/prueba y hacer que el control de la turbina pase al manual de apoyo cuando el regulador numérico se vaya a colocar en el modo de simulación. La localización de averías se ejecuta en relación con la lógica y los algoritmos de programación.

10

15

Esta solicitud que corresponde a las presentadas en los Estados Unidos de América, los días 24 de Abril de 1972, bajo el nº 246.900; 25 de Abril de 1972, bajo el nº 247.440 y 26 de Abril de 1972, bajo el nº 247.877 se acoge a los beneficios del artículo 51 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.

20

13-8-73



31 73
413984

REIVINDICACIONES

5 Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los que se recogen en las reivindicaciones siguientes:

10 1ª.- Un sistema para controlar una central generadora de energía eléctrica, que incluye una calculadora para controlar el funcionamiento de dicha central y destinada a recibir datos operacionales de dicha central y suministrar, con arreglo a un plan prefijado en consideración a dichos datos operacionales, unas señales de control para el funcionamiento de dicha central, caracteri-
15 zado por el hecho de que dicha calculadora incluye medios para simular el funcionamiento de dicha central mediante la provisión de datos operacionales simulados, y medios para simular la respuesta de dicha central con arreglo a
20 dicho plan prefijado, para permitir el adiestramiento de personal operador u otras tareas.

25 2ª.- El sistema de la reivindicación 1ª, caracterizado por una disposición de control de apoyo para situar en posición dichas válvulas y hacer funcionar dicha turbina mientras la calculadora se hace funcionar para la simulación del funcionamiento de la central.

13-8-73

- 73 -

413984

3ª.- El sistema de la reivindicación 1ª o 2ª, caracterizado por el hecho de que dichos medios para simular el funcionamiento de la citada central incluyen unos medios para aplicar unas señales de central prefijadas a la entrada de dicha calculadora, en respuesta a las cuales la calculadora está destinada a suministrar unas señales de posicionamiento de válvulas.

4ª.- El sistema de la reivindicación 1ª, 2ª o 3ª, caracterizado por el hecho de que dichos medios para simular la respuesta incluyen medios para responder a una señal de demanda de velocidad generando señales de velocidad de la turbina simuladas, como datos operacionales simulados, durante el funcionamiento de dicho sistema en el modo de simulación.

5ª.- El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1ª a 4ª, caracterizado por el hecho de que dichos medios para simular la respuesta incluyen unos medios para responder, durante el funcionamiento de la turbina en carga, a una demanda de presión de impulsión, para así producir señales simuladas de presión de impulsión de la turbina como datos operacionales simulados.

6ª.- El sistema de las reivindicaciones 1ª a 5ª, caracterizado por el hecho de que dichos medios para simular la respuesta incluyen medios para responder, durante el funcionamiento de la turbina en carga, a una demanda de salida de megavatios del generador eléctrico,



413984

para así producir señales simuladas de megavatios del generador eléctrico de la turbina, como datos operacionales simulados.

5

7ª.- El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1ª a 6ª, caracterizado por el hecho de que dichos medios para simular la respuesta incluyen medios para responder, durante el funcionamiento en carga de la turbina, a una demanda de presión de impulsión, para así producir señales simuladas de presión de impulsión de la turbina como datos operaciones simulados.

10

8ª.- UN SISTEMA PARA CONTROLAR UNA CENTRAL GENERADORA DE ENERGIA ELECTRICA.

15

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

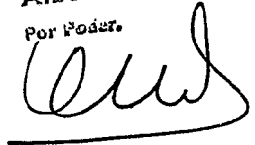
Esta Memoria consta de setenta y cinco hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid,

P.A.

22 AGO. 1975

Alberto de Alarcón
Por Poder.



M

413984

413984

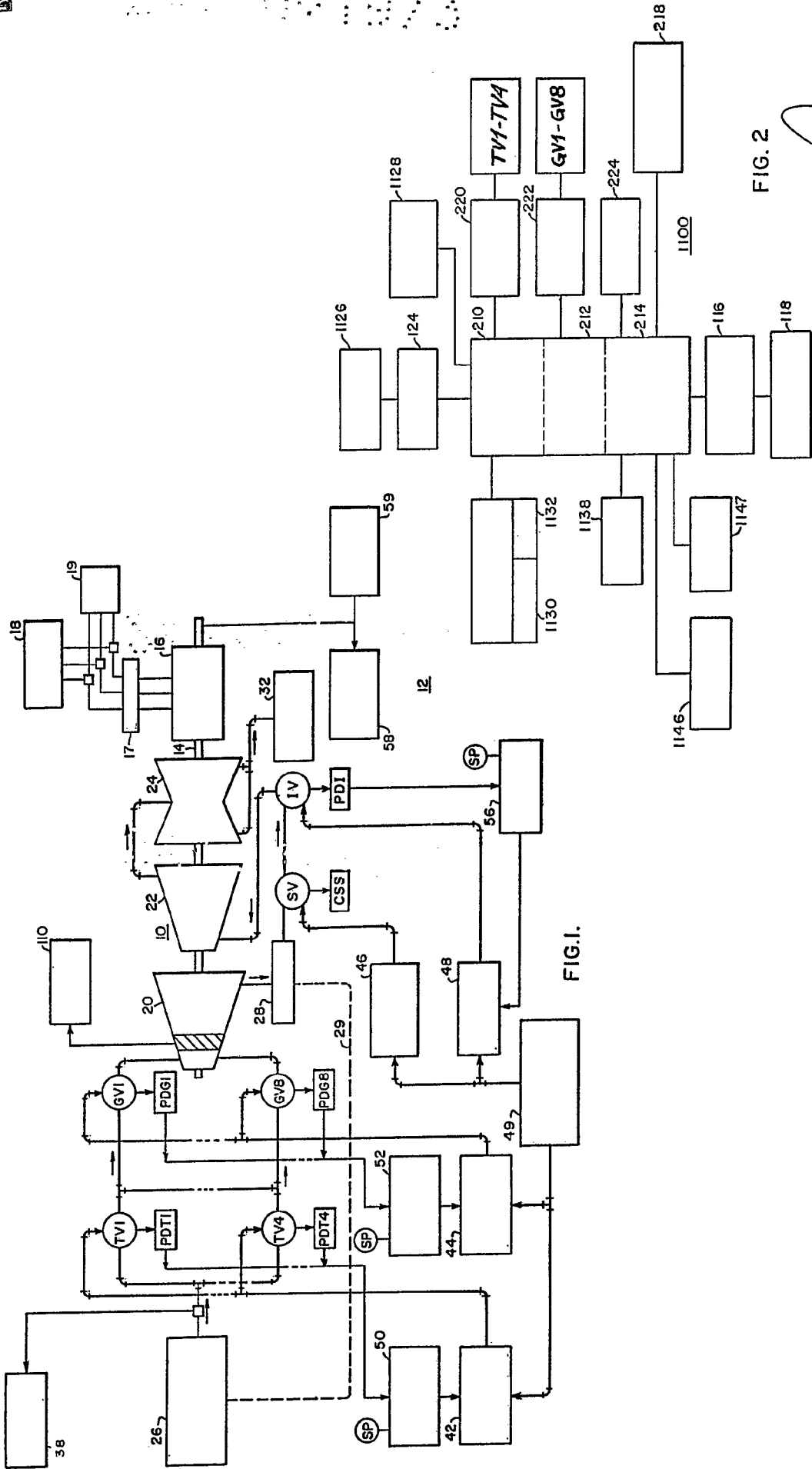
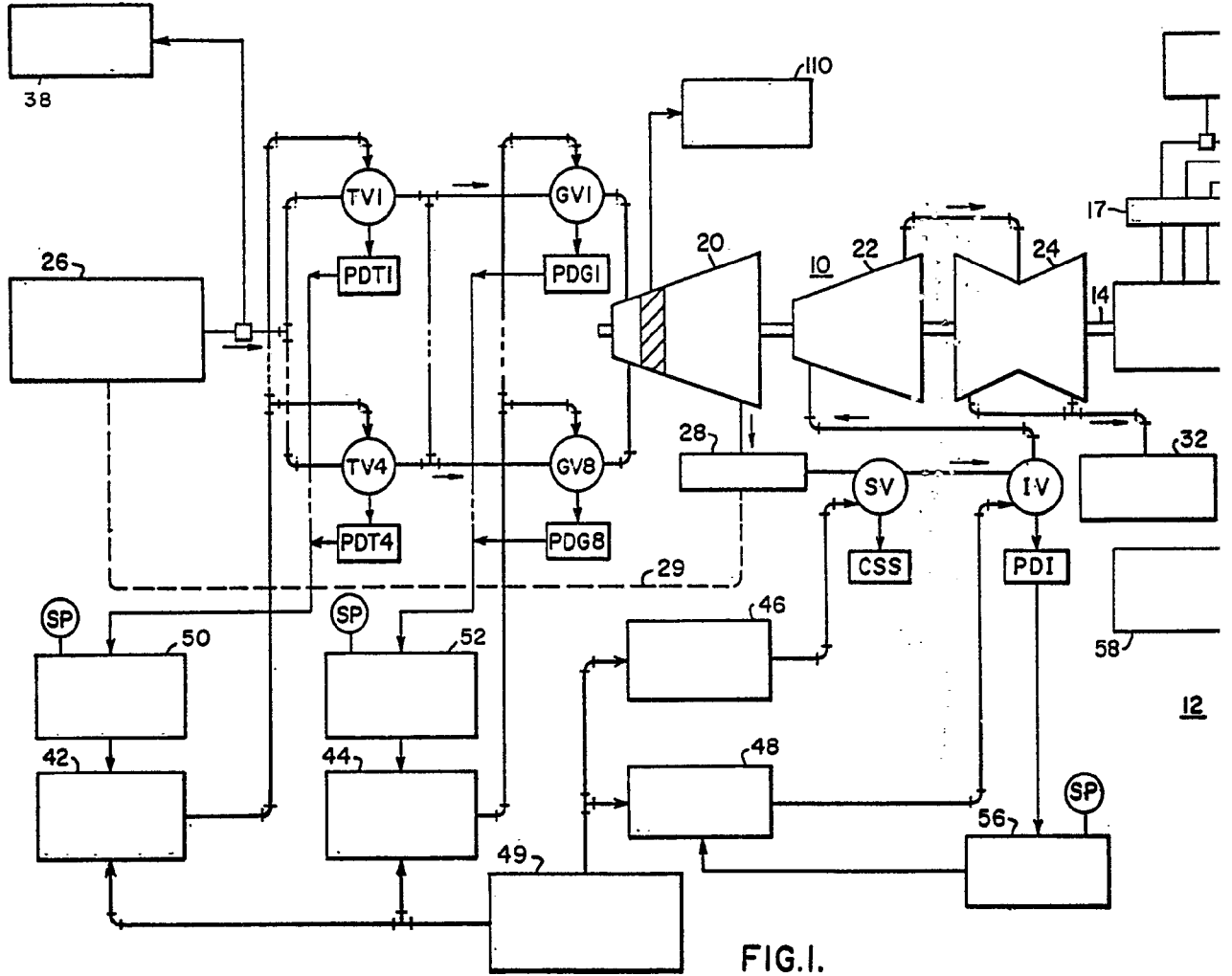


FIG. 1.

FIG. 2

Handwritten signature or initials.

413984



1146

413984

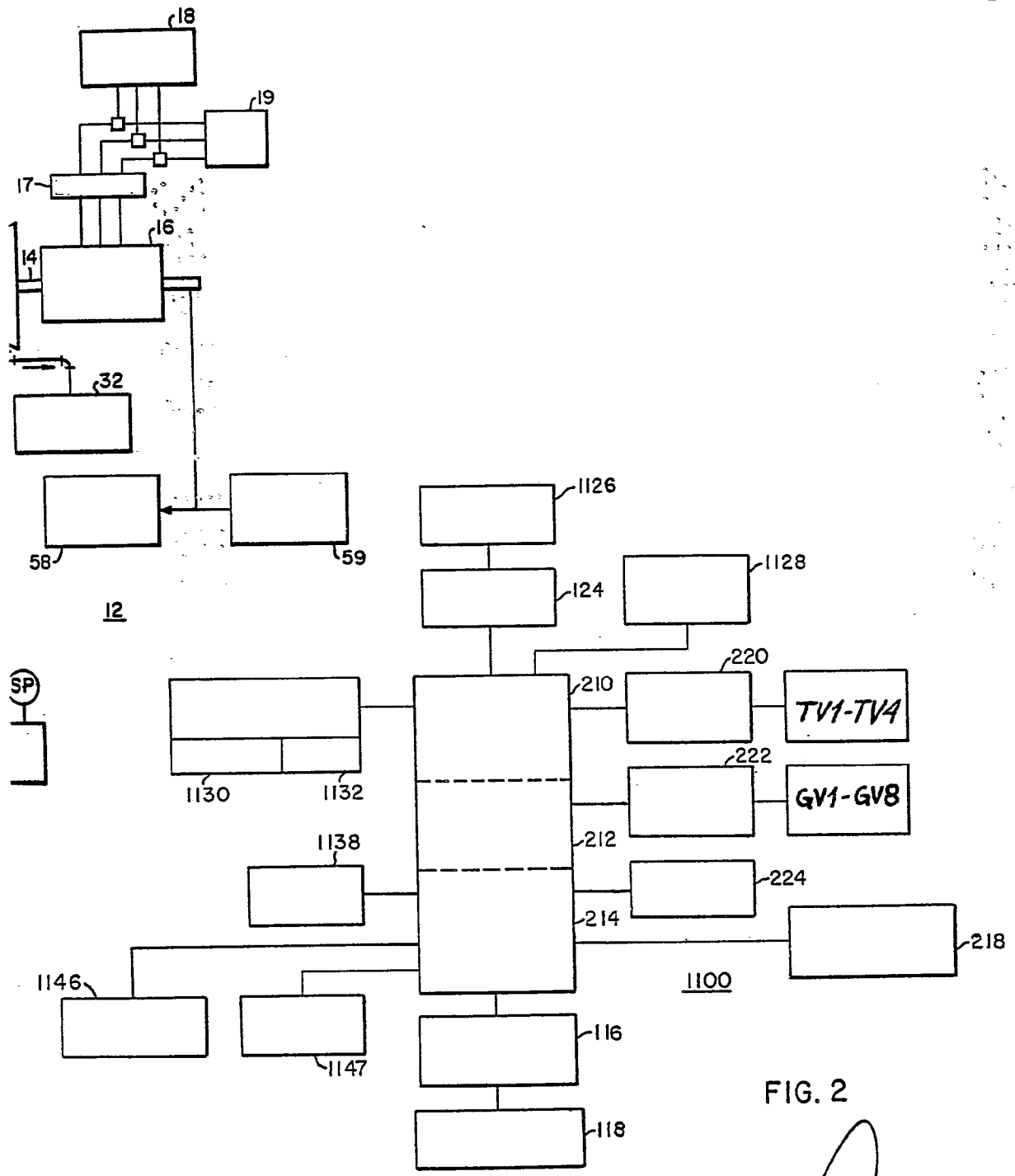
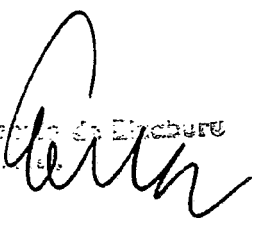


FIG. 2

Allen & Duchene
 Pat. 4,139,844



413984

413984

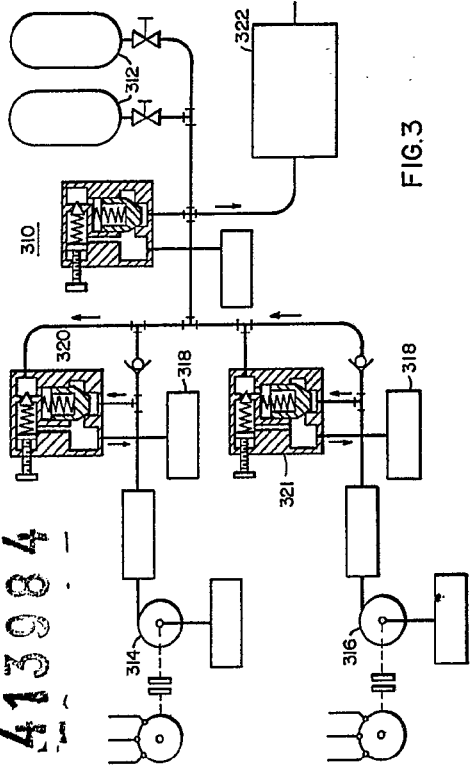


FIG. 3

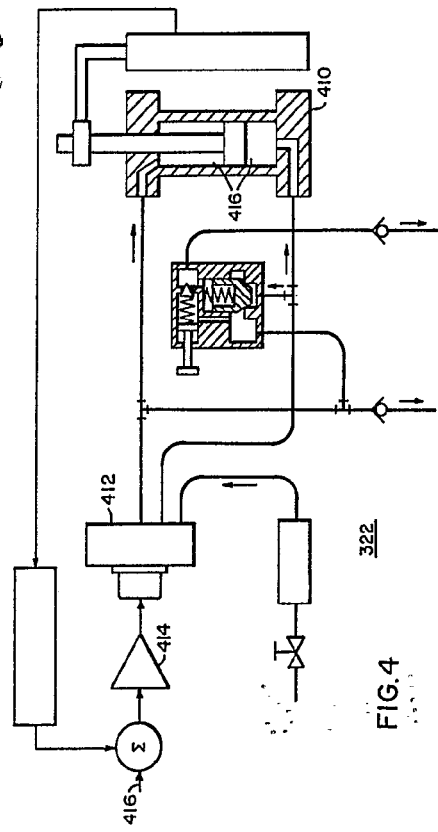


FIG. 4

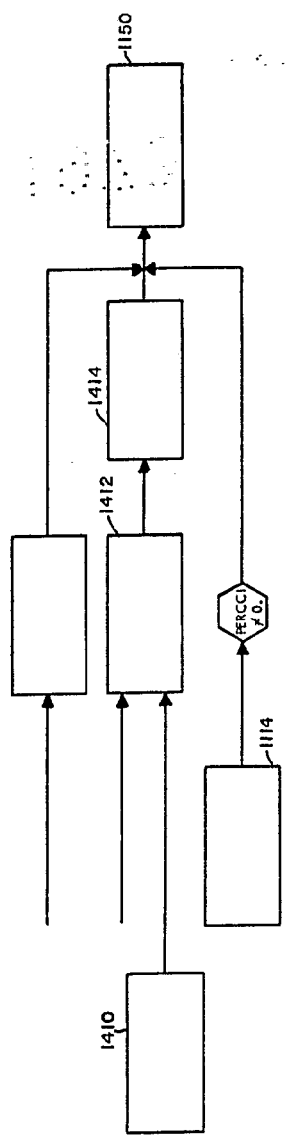


FIG. 15

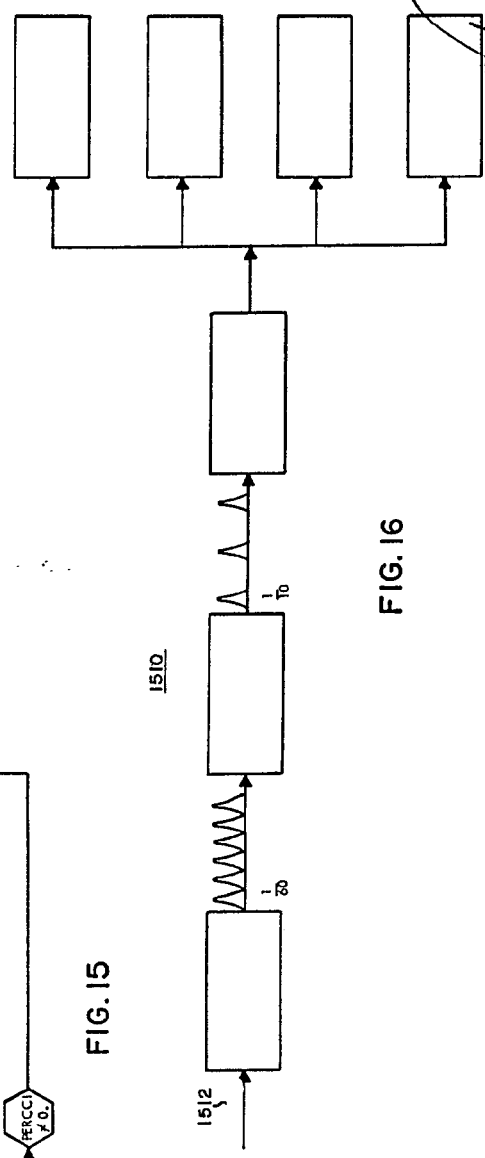
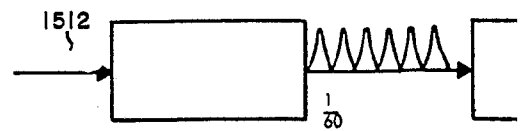
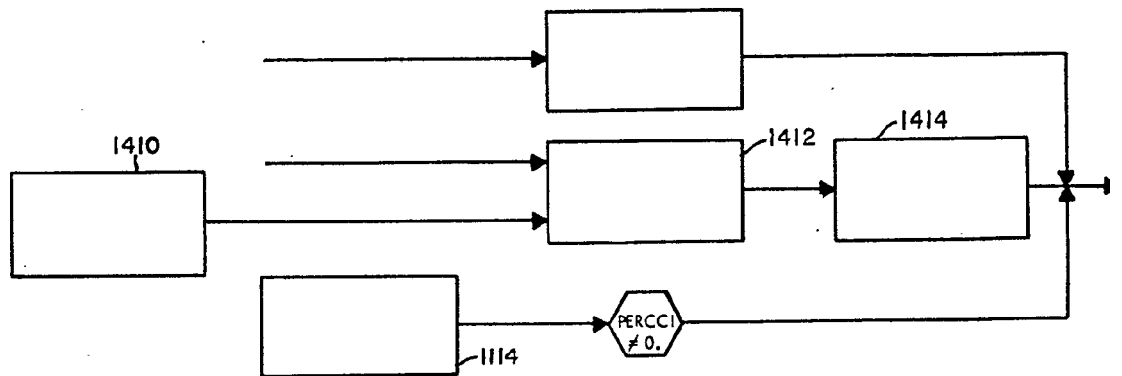
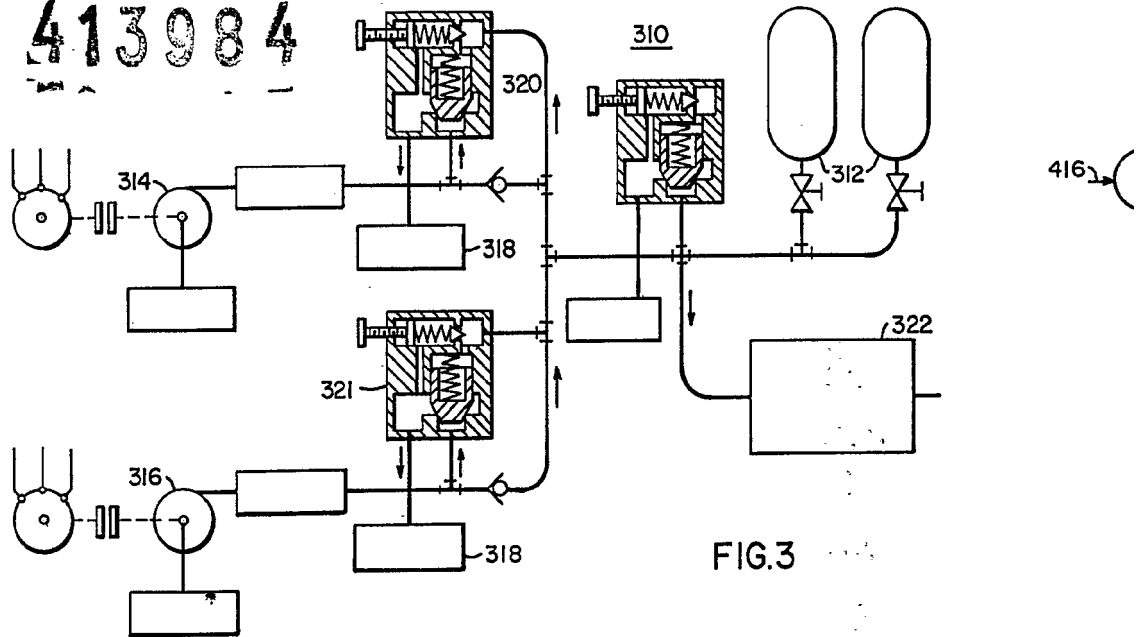


FIG. 16

WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION
II/VII

413984



413984

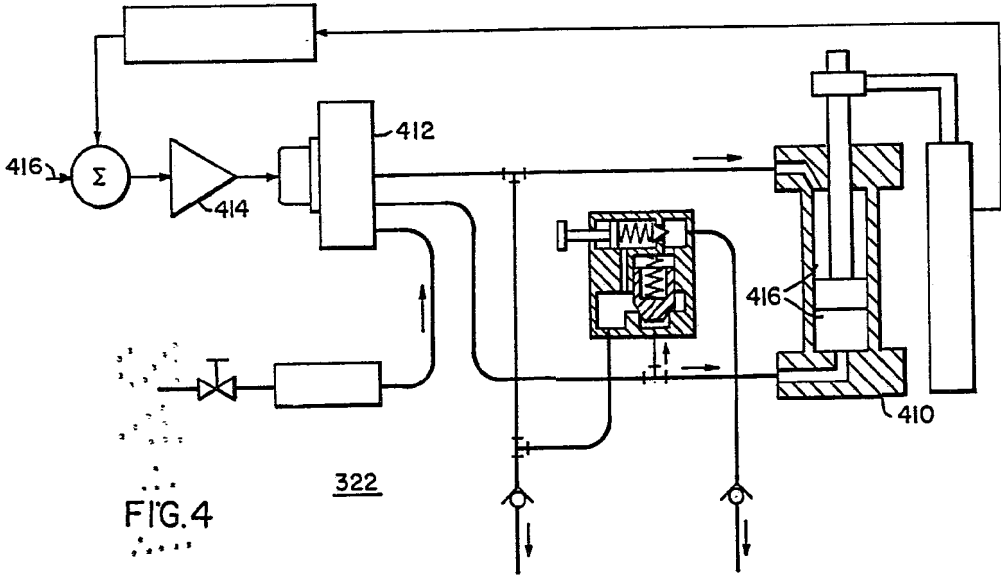


FIG. 4

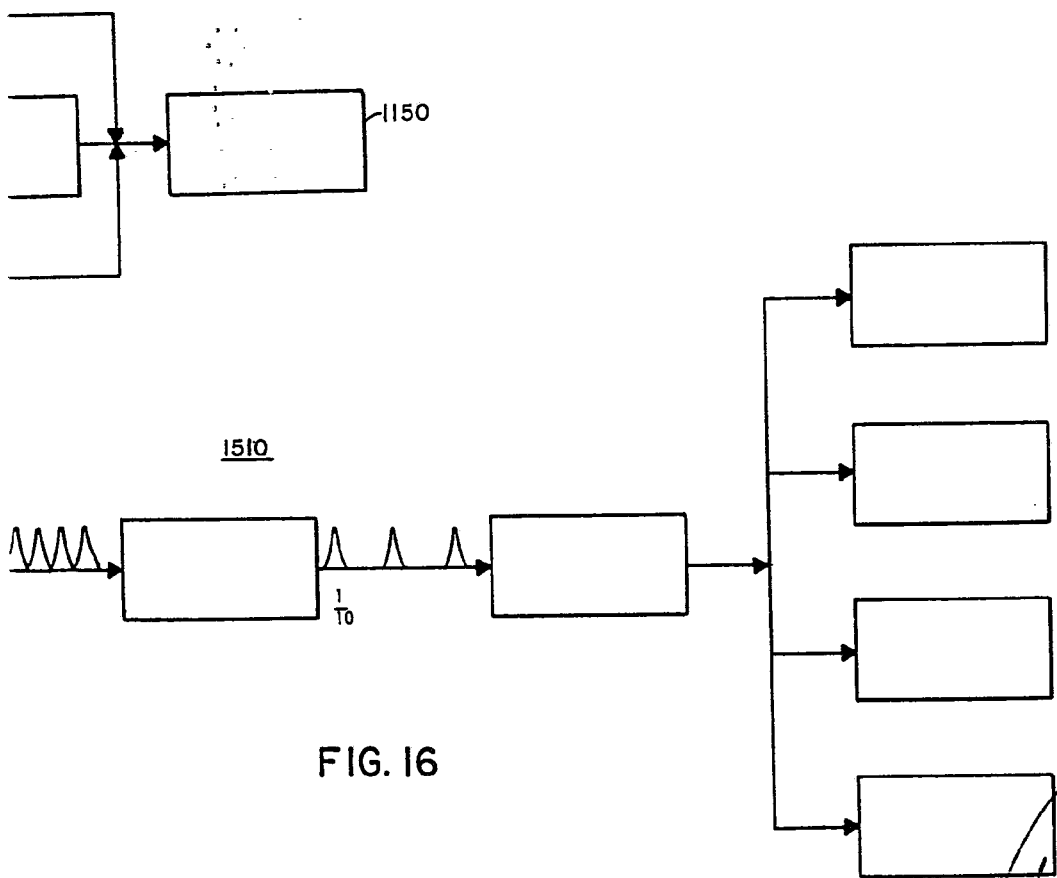


FIG. 16

Alfente de Missouri
Per F. O. H. *[Signature]*

413984

413984

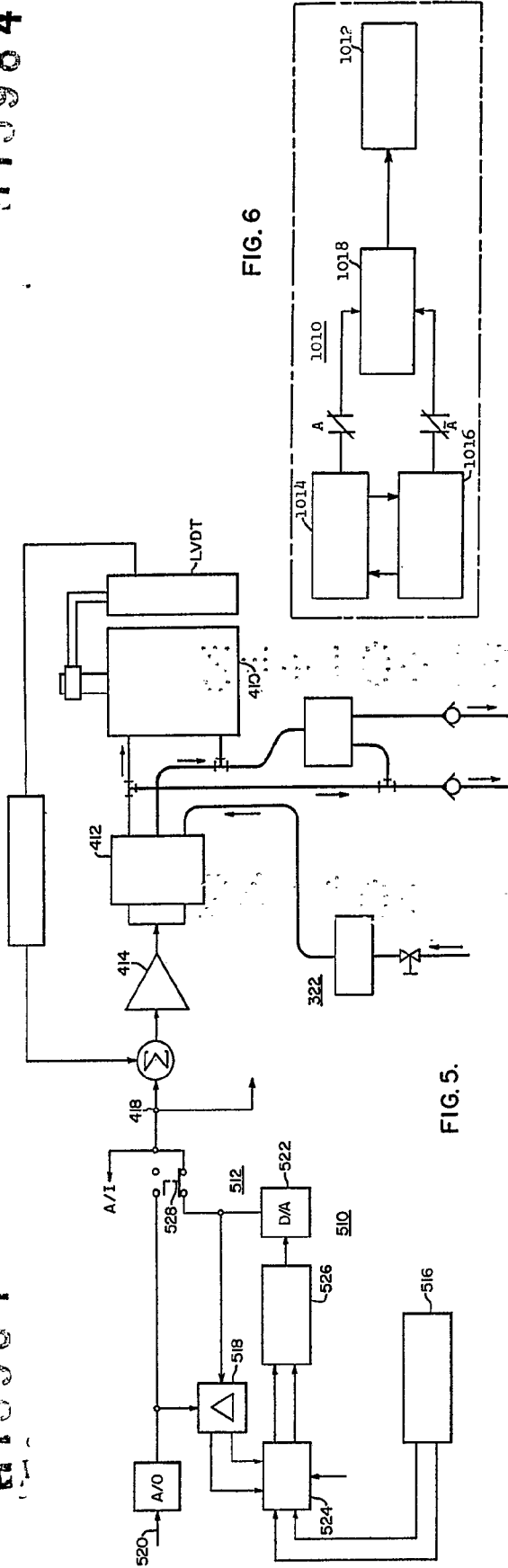


FIG. 5.

FIG. 6

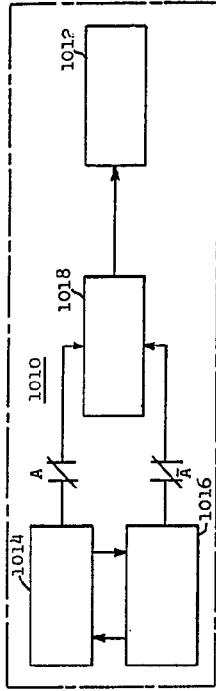
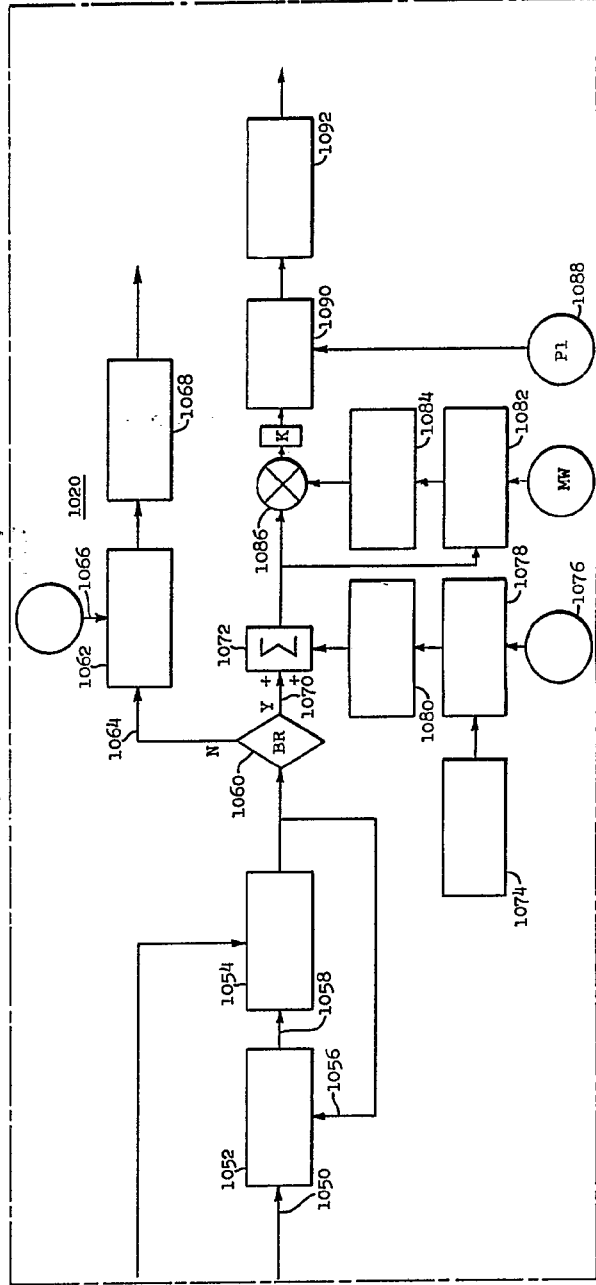


FIG. 7



W. J. ...

413984

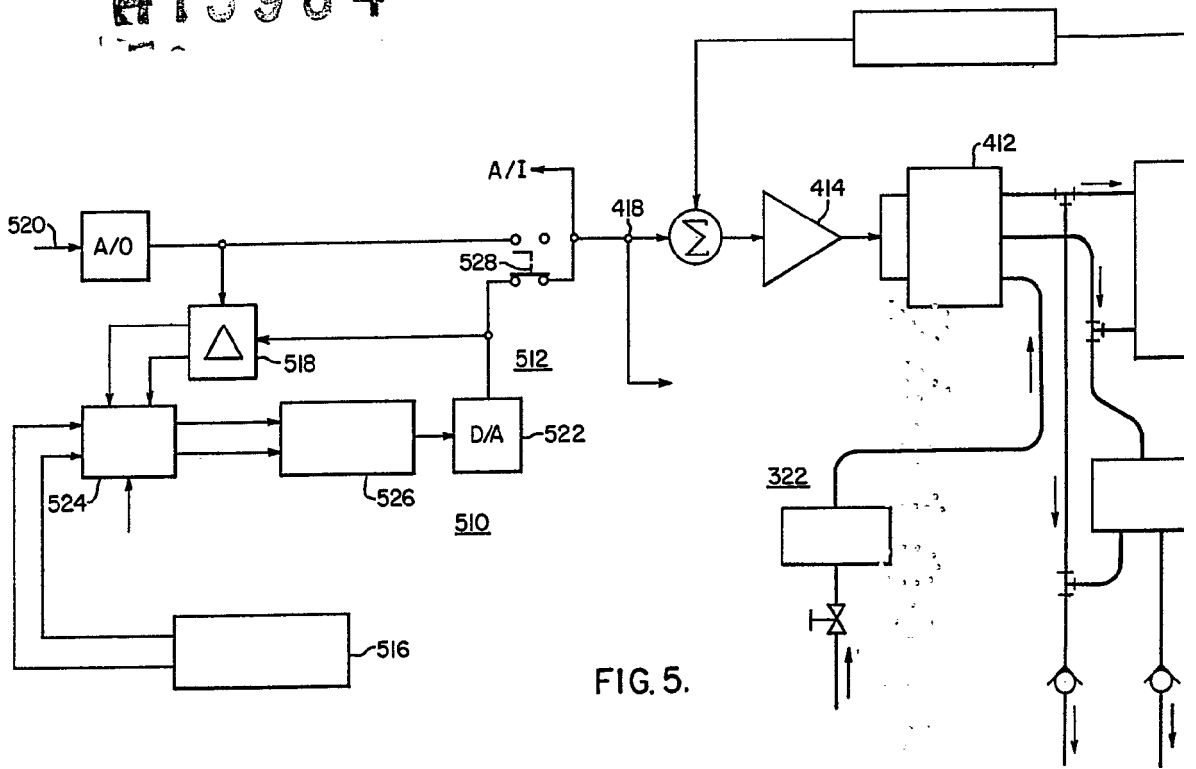
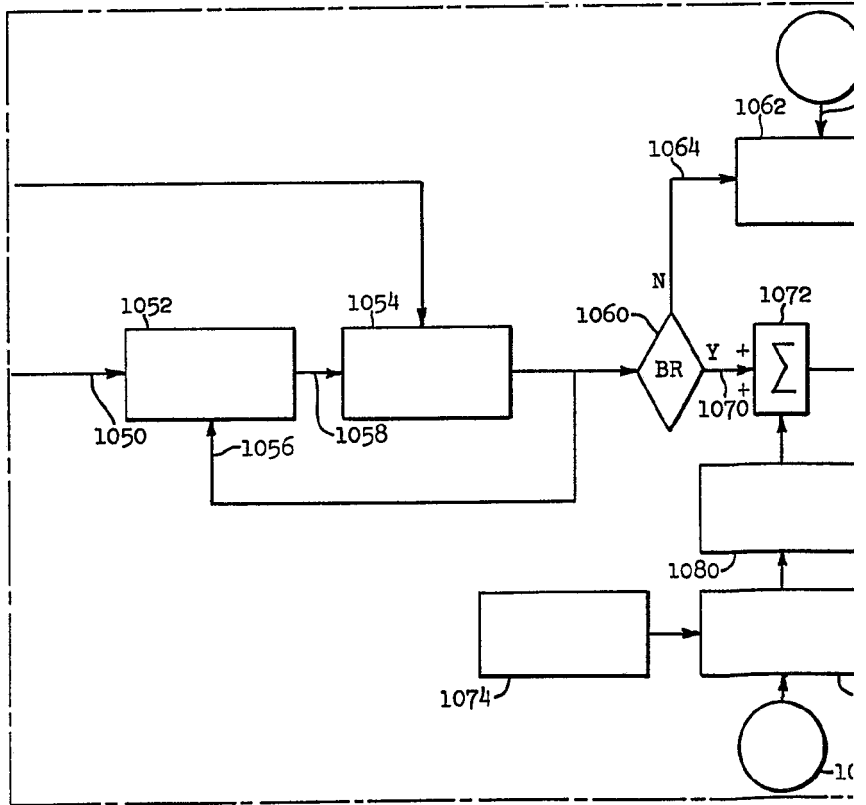


FIG. 5.



413984

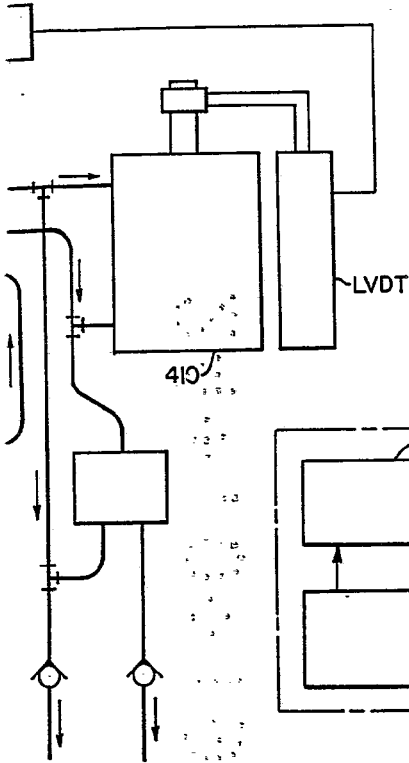


FIG. 6

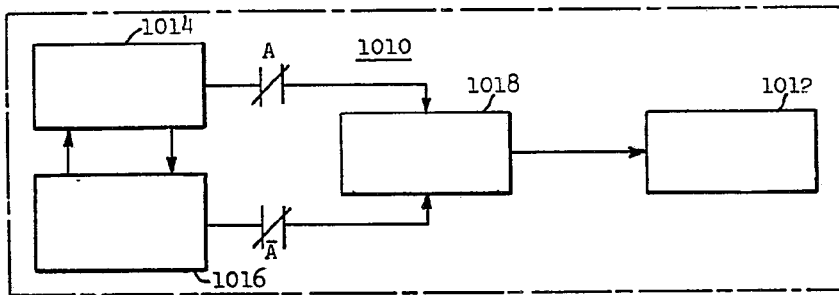
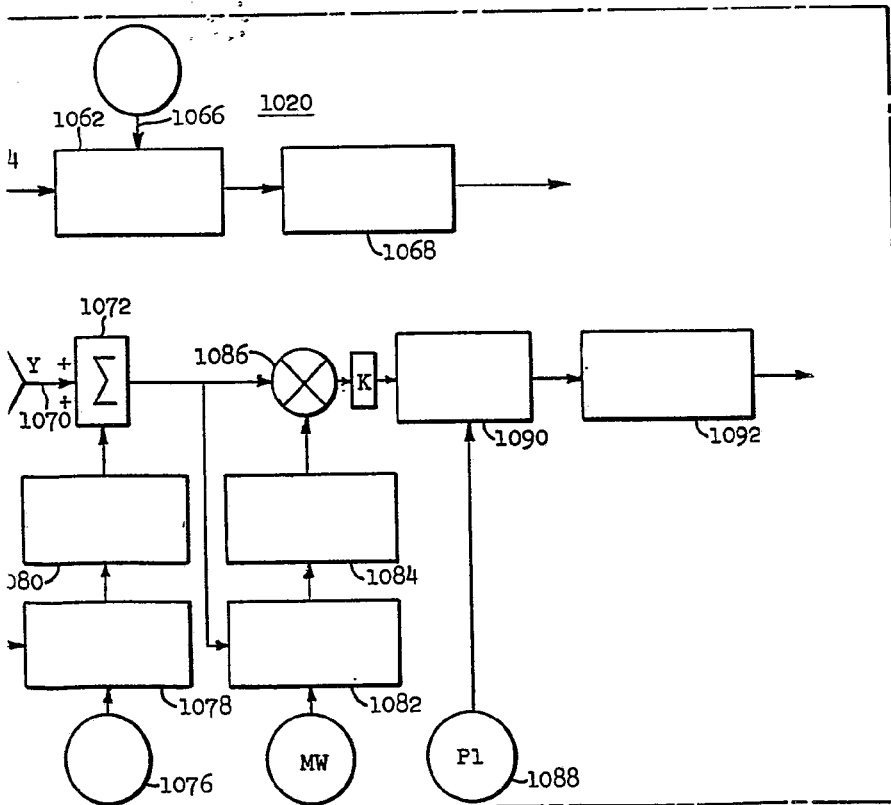


FIG. 7



Albert J. Bischer
Patent Attorney



37

FIG. 9

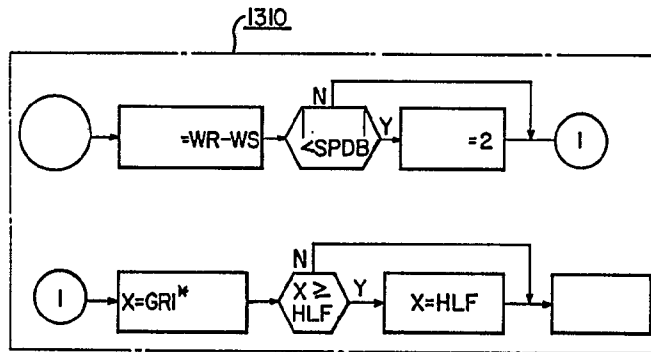
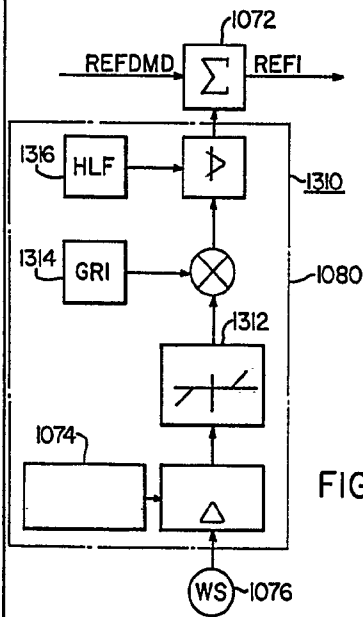
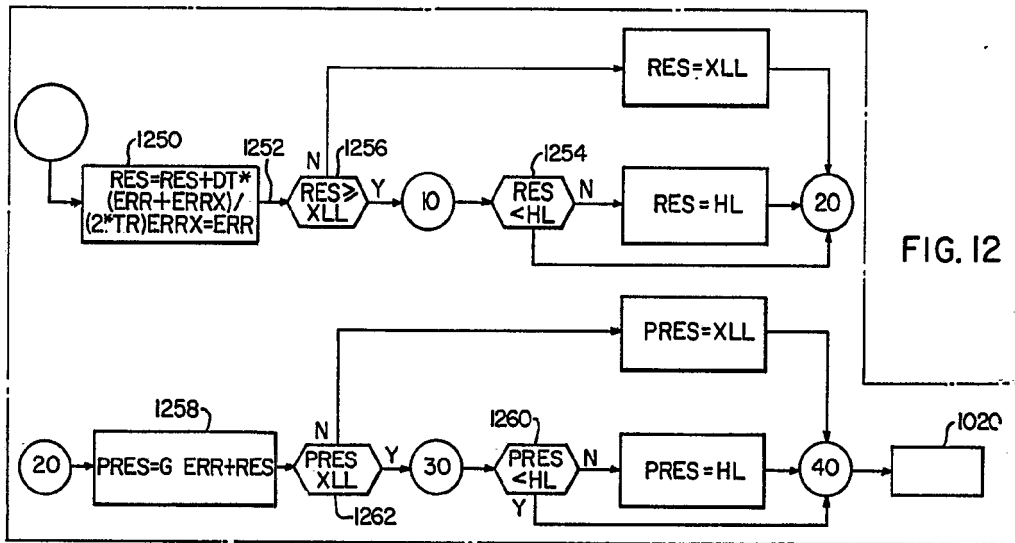
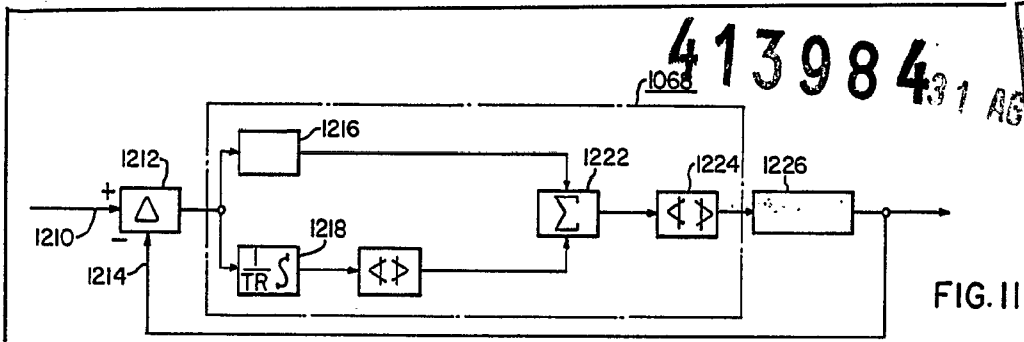
F		0.1	2F40
E		1.0	14BD
D			2730
C			21B0
B		0.5	16D0
A		1.0	4420
9			1962
8		1.0	1E60
7			3D10
6		5.0	6960
5		0.5	15A0
4			3000
3		5.0	6CA0
2		1.0	3E70
1			0E80
0			4000

FIG. 10

		Dec	Hex
0		32	20
20		32	20
40		96	60
A0		96	60
100		32	20
120		120	78
198		47	2F
1C7		25	19
1E0		32	20
200		3162	C5A
E5A		6	6
E60		32	20
E80		16	10
E92		40	28
EBA		10	A
EC4		10	A
ECE		50	32
F00		618	26A
116A		22	16

Alberto de Elizaburu
 For: *[Signature]*

413984



Approved for Release
 by NSA on 05-08-2014 pursuant to E.O. 13526

413984

413984

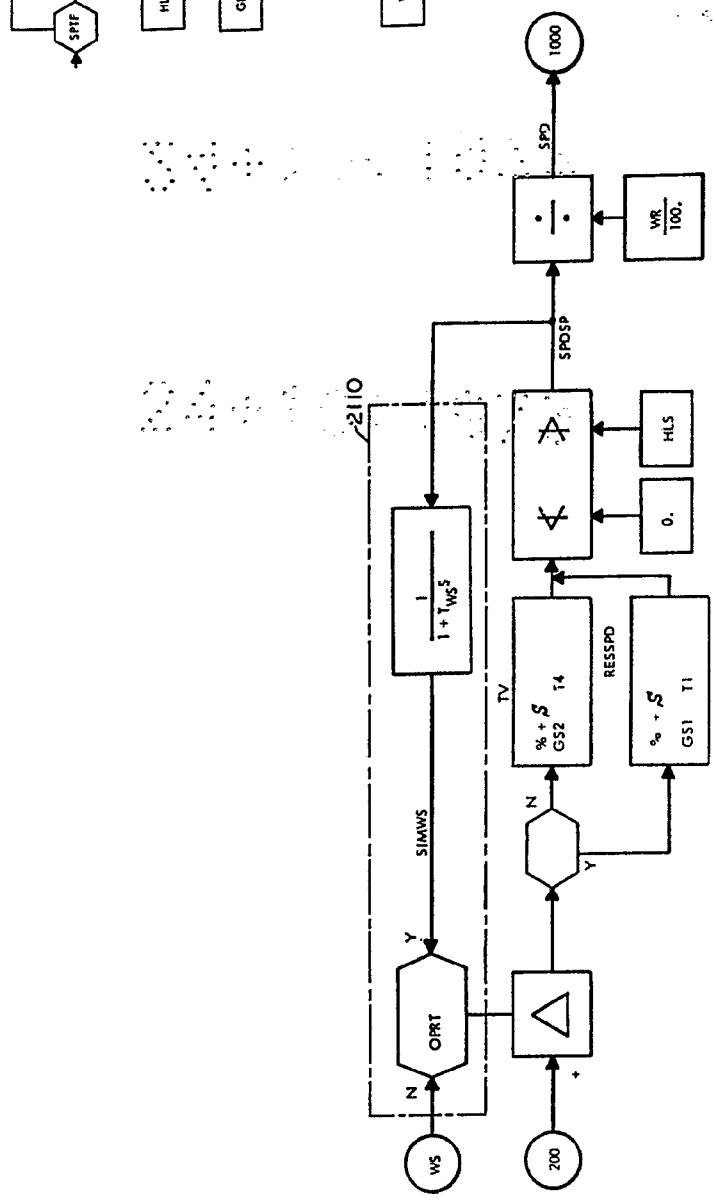


FIG. 17

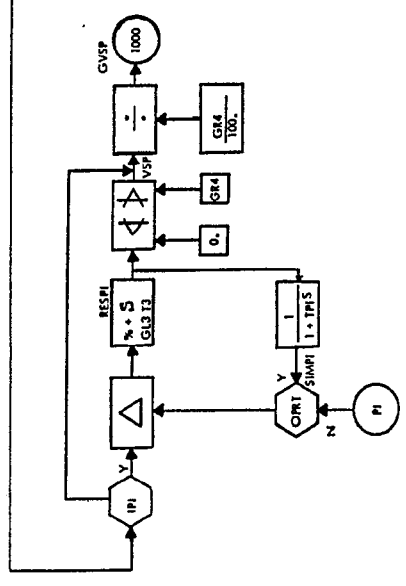
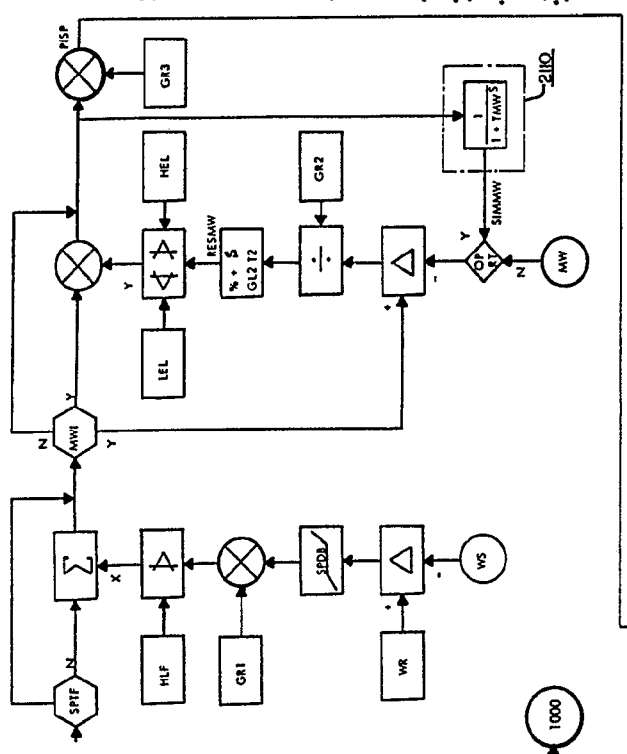
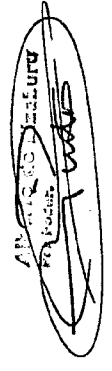


FIG. 18



413984

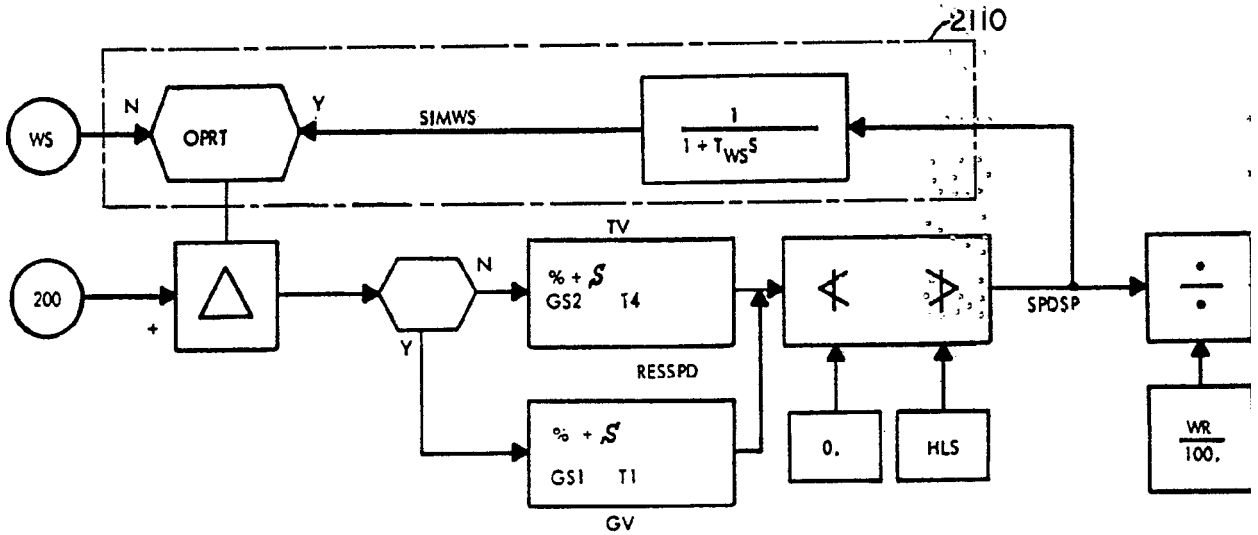


FIG. 17

413984 37

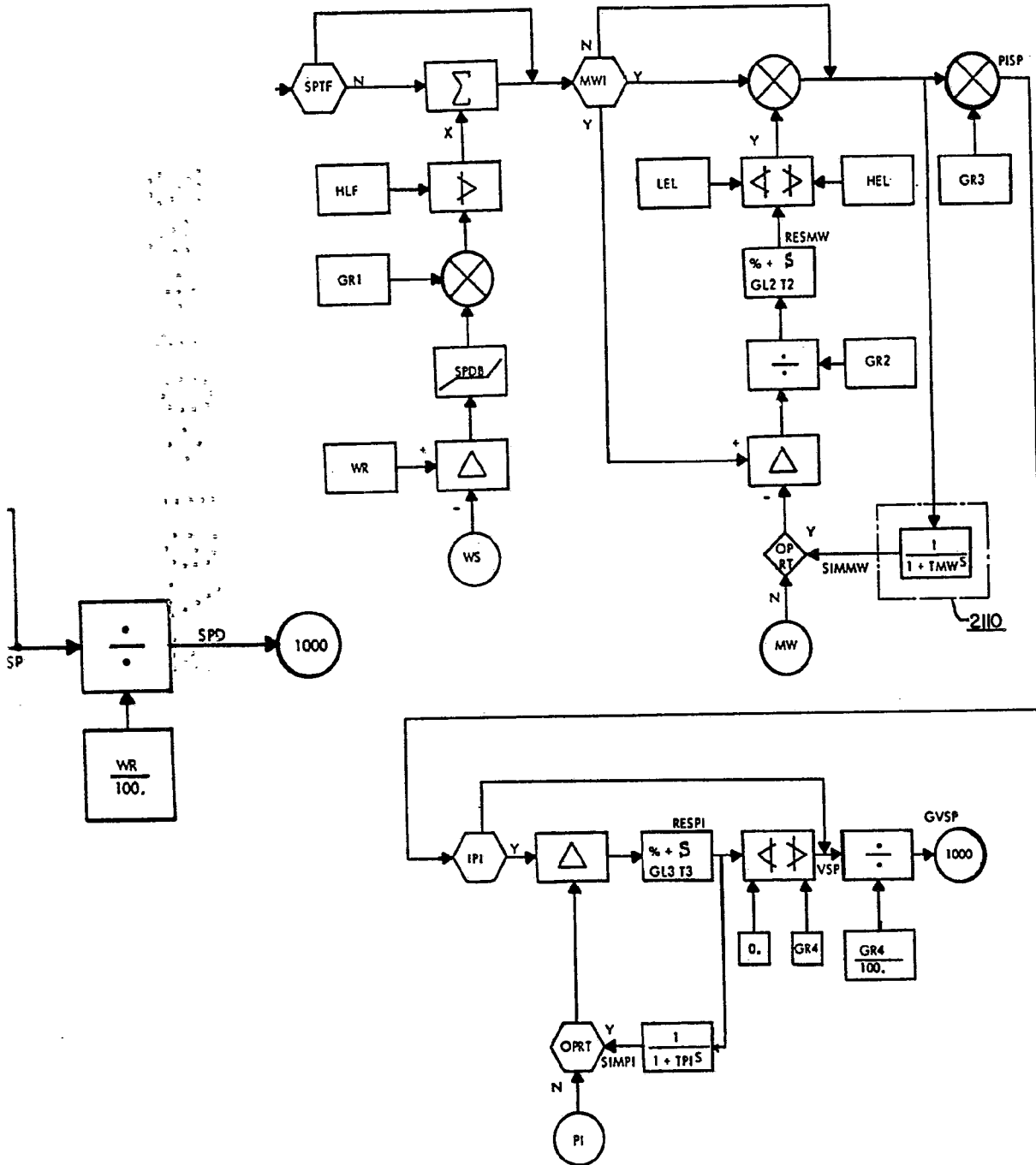


FIG.18

Alberto de D'azabura
FCA Foder.
[Signature]