

373364

P.- 43.231
W.E. Case 39.473
U.S. Ser. N° 779.075

Memoria descriptiva

SECCION TECNICA
CLASIFICACION I. P. C.
CLASE _____
SUBCLASE _____



para solicitar PATENTE DE INVENCION por 20 años

a nombre de WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION

entidad / de nacionalidad norteamericana

con domicilio en 3 Gateway Center, Pittsburgh, Pensilvania,
Estados Unidos de América

por: "UN SISTEMA PARA CONTROLAR EL FUNCIONAMIENTO DE UNA
CENTRAL, DE REACTOR NUCLEAR Y TURBINA DE VAPOR"
(Clase Internacional H02k G21h)

Int. Cl.:	H02 K, G21H
-----------	-------------

373364



La presente invención se refiere a instalaciones de turbinas de vapor, y más en particular a centrales eléctricas movidas por turbinas de vapor a las cuales se provee de alimentación de vapor por medio de un reactor nuclear de agua en ebullición.

5

Como la densidad del agua es un factor determinante en gran parte del régimen o frecuencia de generación de los neutrones lentos necesarios para la propagación controlada de la reacción nuclear en cadena, el nivel de energía de trabajo del reactor viene en parte determinado por la acumulación de huecos o burbujas de vapor en el volumen del núcleo o región activa. Un aumento en el flujo de refrigerante hace que las barras de combustible se enfríen más deprisa, reduciéndose la ebullición y, por tanto, la acumulación de burbujas y aumentándose la potencia del reactor. Una reducción en el flujo de refrigerante produce efectos contrarios. Como tipo, es posible utilizar un control del paso o flujo de refrigerante que regule los niveles de energía del reactor de agua en ebullición dentro de unos límites aproximados de un 20% o 25%, con una determinada colocación de barras de control preajustadas.

10

15

20

En general, el nivel de activación de las turbinas de vapor viene determinado por el gasto de vapor de entrada a la turbina, que a su vez lo está por las condiciones del vapor de agua a la salida de la fuente de suministro de vapor y por la posición de las válvulas de entrada de vapor. La potencia de accionamiento de las turbinas, suministrada para los generadores de la central, se controla convenientemente para que satisfaga la demanda de carga eléctrica y la demanda de participación de frecuen-

25

30

9.1.70

373364

13



cia impuesta a la central eléctrica por el operador de la misma, o bien por una calculadora económica de distribución o por otro medio.

5 Para controlar una central de turbinas de vapor y reactor nuclear, se suele recurrir al empleo de un modo de trabajo de seguimiento de las turbinas. Después de puesta en marcha la central, se efectúan cambios correctores en el nivel de energía del reactor por medio de control automático o manual del paso de refrigerante del reactor, o bien por un manejo manual o posiblemente automático de las barras de control, a fin de satisfacer la demanda de carga de la central. Se detecta la presión de admisión o estrangulación de vapor en las turbinas, y se hacen funcionar las válvulas de vapor de entrada a las
10 turbinas, en el modo de seguimiento, para regular así las presiones de admisión y del recipiente del reactor, y poder efectuar cambios en el gasto de vapor de la turbina para corregir la carga de la turbina a medida que se corrige el nivel de potencia o de energía del reactor. Para
15 acelerar el control, especialmente cuando se producen cambios bruscos en la demanda de carga, el punto de ajuste del control de presión de las turbinas puede ajustarse transitoriamente en respuesta al error o diferencia de carga.
20 ga.

25 En la aplicación típica de turbinas de vapor y reactor nuclear, la parte del sistema de control dirigida al gobierno de las válvulas de turbina es principalmente de carácter mecánico e hidráulico, con algunos circuitos eléctricos, tales como los que intervienen en la función
30 de detectar la presión de admisión.

9.1.70

373364



Aunque el ajuste del punto de presión de admisión tiene cierto valor desde el punto de vista de un control por anticipado, presenta cierta deficiencia por seguir incurriendo, en cuanto a respuesta del sistema de control, en el retardo típico de un control de presión de admisión de tipo usual. Además, el ajuste del punto de presión de admisión trae consigo una caracterización fija de la magnitud de ajuste del punto de presión de admisión a obtener en función del tiempo y del error o diferencia de carga. Esta relativa inflexibilidad del ajuste del punto de presión de admisión, cuando se trabaja en este modo de control de presión de admisión, limita el funcionamiento de las válvulas de control de las turbinas dándole un carácter relativamente tosco o basto en cuanto a anticipación, sin una calibración específica de respuesta óptima, o casi óptima, del sistema a las variaciones de demanda de la carga, de presión de admisión y de otras condiciones del sistema. Por ello se ven afectadas de manera adversa la coordinación de la central y la respuesta a la carga.

Otro inconveniente general de dirigir el funcionamiento de la central con arreglo al criterio de seguimiento de las turbinas viene residiendo en el hecho de que la pérdida del control de presión de admisión exige una detección y cierta forma de acción de control que pone la turbina sea bajo control manual, sea bajo otra forma de control automático. El tiempo que se pierde en hacer este cambio incluye el de la detección y la iniciación, así como el tiempo necesario para actualizar los nuevos bucles de control, de acuerdo con las condiciones de la central en un momento dado. De ese modo se produce una deficiencia en

9.1.70

373364



la coordinación de la central, siendo conveniente evitarla aun cuando el tiempo de acción de control que interviene sea relativamente pequeño.

5 Por todo ello, es objeto principal de la invención un sistema y un método, nuevos en su género, para hacer funcionar una central de turbinas de vapor y reactor nuclear de agua en ebullición con mejor rendimiento y economía.

10 Teniendo en cuenta este objeto, la presente invención reside en un sistema para controlar el funcionamiento de una central de turbinas de vapor y reactor nuclear, que posee turbinas de vapor controladas por válvulas de entrada de vapor, sistema que comprende: medios de generar una primera señal eléctrica, representativa de la demanda de carga; medios de generar una segunda señal eléctrica, representativa de la demanda de velocidad de las turbinas; medios de generar una tercera señal eléctrica, representativa de la velocidad efectiva de las turbinas; medios de generar una cuarta señal eléctrica, representativa de la presión de admisión del vapor suministrado a la turbina por el reactor; y medios de generar una quinta señal eléctrica, representativa del error o diferencia de velocidad de las turbinas; comprendiendo además dicho sistema unos medios capaces de responder a la primera señal eléctrica, para controlar el funcionamiento del reactor de modo que satisfaga la demanda de carga; y estando caracterizado dicho sistema por incluir medios limitadores capaces de responder a la cuarta señal, para limitar el funcionamiento de las válvulas de entrada y con ello la presión de admisión dentro de unos límites prefijados, y medios de control

9.1.70

lar la posición de las válvulas de entrada en respuesta a la quinta señal, de error de velocidad, dentro de los límites impuestos por los medios limitadores.

La invención se irá desprendiendo más fácilmente de la siguiente descripción de una forma preferida de ejecución de la misma e ilustrada a mero título de ejemplo no limitativo en los dibujos adjuntos, en los cuales:

- la figura 1 de una representación esquemática de una central eléctrica accionada por un reactor de agua en ebullición y una turbina de vapor;

- la figura 2 es el esquema de un sistema de control por seguimiento de turbina, dispuesto con arreglo a los principios de la presente invención para hacer funcionar la central de la fig. 1; y

- la figura 3 es el esquema de un sistema de control coordinado, dispuesto con arreglo a los principios de la invención para hacer funcionar la central de la fig. 1.

Más concretamente, en la fig. 1 se representa una central eléctrica 10 provista de un generador eléctrico 12 de tipo usual accionado por una turbina de vapor 14 nuclear. El sistema generador de vapor para la turbina 14 es en este caso, y como ejemplo, un reactor nuclear 16 de agua en ebullición, de tipo usual.

La turbina de vapor 14 nuclear está provista de un único árbol o eje de salida 18 que mueve al generador 12, dando energía eléctrica. Típicamente, el generador eléctrico 12 está conectado a una red de energía eléctrica, y trabaja a velocidad constante.

9.1.70

373364



En este ejemplo, la turbina de vapor 14 nuclear es del tipo de flujo axial de varias etapas, e incluye una sección de alta presión 20 y una sección de baja presión 22, de doble flujo. Cada una de las secciones de turbina 20 y 22 puede incluir una pluralidad de etapas de expansión proporcionadas por unas paletas estacionarias y un rotor de álabes en cooperación, conectado éste al eje 18.

El vapor procedente de la sección de turbina 22 de baja presión se dirige a un condensador 30. El flujo de agua de alimentación del reactor, procedente del condensador 30, incluye el de agua de reposición y el caudal resultante de la condensación del vapor de la turbina, así como el resultante de la condensación del vapor de agua que se desvía de la turbina 14 por unas válvulas de derivación 32, y se lleve directamente al condensador 30. El flujo de agua de alimentación se dirige desde el condensador 30 a un desmineralizador 34, donde se eliminan los productos de corrosión y otras impurezas. Desde el desmineralizador 34, el agua de alimentación se hace pasar, mediante una o más bombas 36 de agua de alimentación, a través de un sistema calentador del agua de alimentación indicado en el recuadro o bloque 26 y al interior del recipiente de presión del reactor nuclear 16.

En el reactor 16, el calor producido en las barras de combustible, contenidas dentro del núcleo o región activa del combustible, se transmite al refrigerante que circula a lo largo de las varillas. El vapor de agua se recoge en la parte alta del depósito de presión y se dirige, por medio de uno o más conductos 38, a las válvulas 24 de entrada de la turbina.

9.1.70



Para poder efectuar en el flujo de circulación del vapor de agua de la turbina unas variaciones que satisfagan la demanda de carga de las turbinas y de la central, se hace variar el nivel de energía de trabajo del reactor, modificando, por ejemplo, el flujo de recirculación en la región activa del reactor por accionamiento controlado de las bombas centrífugas 38 y 40 en los bucles del flujo de recirculación 42 y 44.

Quando se quiera aumentar la potencia del reactor, se reduce la acumulación de burbujas de vapor aumentando el flujo de recirculación. Una menor potencia del reactor requiere menos flujo de recirculación. Típicamente puede utilizarse el control del flujo de recirculación para hacer variar la potencia del reactor hasta en un 25% o más.

Las variaciones de potencia mayores exigen cambios de posición en las barras de control 46 usuales, para modificar la magnitud de la absorción de neutrones. La colocación manual, o posiblemente automática, de barras de control quedaría normalmente sujeta también a la realización física de un programa de consunción de la masa activa de combustible.

Para determinar el funcionamiento del sistema de flujo de recirculación, y el accionamiento de las barras de control 46, se dispone un sistema de control del reactor, de tipo usual, designado y representado por el recuadro 48. Al sistema 48 de control del reactor se aplican datos o señales de retroacción procedentes de determinados detectores del sistema de reactor, y unos reguladores analógicos, u otros medios de control adecuados, que se hacen funcionar

9.1.70

373364

13



5 manual o automáticamente en el sistema 48 de control del reactor generan unas salidas que ponen en acción las bombas 38 y 40 del flujo de recirculación, unos mandos 50 - para las barras de control 46, y otros dispositivos de control del sistema de reactor.

10 En el sistema de control del flujo de recirculación pueden usarse unos detectores de paso del refrigerante, de tipo usual (no representados), a fin de determinar el gasto en los bucles 42 y 44 para su comparación en retroacción con un punto de ajuste FSP del flujo de recirculación, determinado exteriormente. De igual modo, unos detectores de posición adecuados generan señales de retroacción, de la posición de las barras de control, para su comparación con unos puntos de ajuste RSP de posición de las barras de control que vienen determinados con arreglo al programa de consunción de la masa activa de combustible, determinado exteriormente, y si así conviene, de acuerdo con toda demanda de variación de potencia del reactor que exceda del intervalo de control por flujo de recirculación. En este caso, unos reguladores de bombas automáticamente accionados hacen variar la velocidad de accionamiento de las bombas de recirculación para la corrección del gasto, y se usan unos reguladores de mando de las barras, manualmente accionados, para mover las barras y satisfacer los puntos de ajuste RSP de posición de las barras.

30 El posicionamiento de las válvulas de entrada de la turbina de vapor se efectúa haciendo funcionar unos activadores hidráulicos 52 de las válvulas de entrada bajo el control de unos mandos electrohidráulicos 54. A los

9.1.70



13E

mandos 54 se les aplica una señal DT de demanda de posición de las válvulas de entrada, para su comparación con las respectivas señales de retroacción o realimentación de la posición de las válvulas de entrada, generadas por unos detectores de posición PDIV. Un error de posición para cualquiera de las válvulas de entrada 24 da por resultado el funcionamiento del activador 52 de la válvula asociada - hasta que se elimina el error o diferencia, y se satisface la demanda de posición DT total de la válvula.

De igual modo, unos activadores hidráulicos 56 de las válvulas de derivación y unos mandos electrohidráulicos 58 de las mismas ponen en acción dichas válvulas de derivación 32 hasta satisfacer la señal DB de demanda total de posición de las válvulas de derivación, para desviar el vapor no necesitado por la turbina 14, por ejemplo, durante la puesta en marcha y la parada, y durante el control de carga cuando se impongan condiciones de rechazo de carga a la central 10. Unos detectores de posición PDBV generan señales de retroacción de posición de las válvulas de derivación, para su comparación con las señales individuales de demanda de posición de las válvulas de derivación (DB1, ... DBn) derivadas de la demanda total de derivación DB.

Cada sistema de control de válvulas de los mandos electrohidráulicos 54 o 58 incluye un regulador de demanda analógico, de tipo eléctrico usual (no indicado), que caracteriza linealmente la señal de demanda individual de posición de válvula aplicada a su entrada. La salida del regulador de demanda está acoplada a un regulador de posición analógico de tipo usual (no indicado), en el que

9.1.70

373364



se genera una señal de error de posición de la válvula por combinación de la salida del regulador de demanda y la señal de retroacción de posición de la válvula. El regulador de posición de una acción proporcional más la de reposición. Su salida pone en acción una servoválvula que a su vez hace funcionar el activador hidráulico 56 de la válvula, hasta obtener la posición de válvula correcta. Para más detalles sobre los aspectos usuales de los mandos electrohídricos, se hace referencia a un trabajo titulado "Control electrohídrico para mejorar la disponibilidad y el funcionamiento de las turbinas de vapor de gran potencia", presentado por M. Birnbaum y E.G. Noyes en la conferencia Nacional de la Energía (ASME-IEEE) celebrada en Albany, Nueva York, del 19 al 23 de Septiembre de 1965.

Para hacer funcionar el reactor 16 de agua en ebullición y la turbina de vapor 14 se emplea un sistema de control 60 de seguimiento de la turbina, como el ilustrado en la fig. 2. Se hace uso de un sistema numérico de referencia 62 de tipo usual, como el estudiado en la mencionada comunicación de Birnbaum y Noyes, para generar una referencia eléctrica de velocidad y una referencia eléctrica de carga a las cuales se ha de conformar el funcionamiento de la central como puede determinarse, respectivamente, partiendo de las señales eléctricas de un detector de velocidad 64 de tipo usual acoplado a la estructura del eje de la turbina, y de un detector de presión de impulsión 66, asimismo usual, acoplado a la cámara de impulsión de la sección de alta presión 20 de la turbina.

Según se está controlando el funcionamiento de la central para satisfacer la demanda de la misma, la pre

9.1.70



sión de admisión del vapor se mantiene por bajo de un valor límite, y dentro de una gama de valores prefijada, - mediante el funcionamiento de un regulador anológico de presión 68 o de un regulador de presión de apoyo 70 similar, en un sistema 67 de control de la presión de admisión. La presión de admisión se detecta por medio de un detector de presión de admisión 72 que genera una salida eléctrica a sumar a una señal de punto de ajuste SP adecuadamente generada.

10 El regulador de presión 68 ó 70 puede ser un amplificador operacional cuyos circuitos de entrada efectúan la función de sumar, respecto a las señales de entrada aplicadas. En este caso, el regulador de presión 68 ó 70 está provisto de una caracterización proporcional como
15 la prevista para los reguladores de presión en los sistemas usuales de control por seguimiento de turbina, para las centrales de turbinas de vapor y reactor de agua en ebullición. Ahora bien, el sistema de control 67 de la presión de admisión puede hacer uso de reguladores de presión que tengan otras caracterizaciones, tales como la -
20 caracterización proporcional más reposición.

Un circuito comparador apropiado, incluido en el bloque selector 74, funciona transmitiendo la salida de uno de los reguladores de presión 68 ó 70 para ulterior
25 tratamiento. Por ejemplo, en condiciones normales, el regulador de apoyo 70 puede ajustarse para generar una salida ligeramente mayor que la del regulador de presión 68, en todo el intervalo de entradas de error de la presión de admisión. El selector 74 responde entonces al regulador de apoyo 70 solamente cuando su salida sea menor que
30

9.1.70

373364



la del regulador 68.

Unos circuitos generadores de función analógica 76 y 78 correspondientes operan con la señal de salida - de regulador de presión seleccionada generando las respec
5 tivas señales de demanda de posición de válvula DT y DB, para las válvulas 24 de entrada a la turbina y las válvulas 32 de derivación. De preferencia, el generador de función 76 de las válvulas de entrada da una señal de deman
10 da de posición de las válvulas de salida proporcional a la salida del regulador de presión, con la constante de proporcionalidad seleccionada de modo que produzca una - ganancia en bucle cerrado apropiada para el bucle de control de las válvulas de entrada.

De igual modo, el generador de función 78 de las
15 válvulas de derivación produce una señal de demanda de posición de las válvulas de salida proporcional a la salida del regulador de presión, con la constante de proporcionalidad seleccionada de modo que produzca una ganancia en bucle cerrado apropiada para el bucle de control de las
20 válvulas de derivación. Ahora bien, la función de transferencia del generador de función 78 es tal que no empieza a generarse salida alguna, para la acción de control de las válvulas de derivación, hasta que el error de la presión de admisión sobrepasa en una magnitud prefijada
25 al de la presión nominal de admisión.

El sistema de control 67 de la presión de tome, por consiguiente, mantiene la presión de admisión dentro de límites mediante la acción de control de las válvulas de entrada de la turbina, afectando así directamente a la
30 carga de la turbina, o bien mediante la acción de control

9.1.70



de las válvulas de derivación, con lo cual se desvía el vapor no necesitado, desde la turbina 14 al condensador 30. La demanda de carga de la central se satisface, trabajando en el modo de control de carga, por medio de la turbina 14 y por acción de seguimiento con referencia al reactor 16 de agua en ebullición. Así, las variaciones en el nivel de trabajo del reactor, trabajando en el modo de carga, permiten ajustar finalmente la carga de la turbina de modo que satisfaga la demanda de la central en cuanto se satisfacen las limitaciones de presión de admisión y del reactor.

Para llegar al modo de trabajo de la central en carga, el reactor 16 se pone en marcha con la turbina 14 a la velocidad del mecanismo de arranque, con el generador de función 76 desactivado y la presión de reactor y de admisión controladas por el funcionamiento de las válvulas de derivación. El generador de función 78 está adecuadamente controlado por el selector 74, para establecer este modo de trabajo. A un nivel adecuado de trabajo del reactor y unas condiciones de vapor apropiadas, se acelera la turbina 14 hacia la velocidad de sincronismo mediante el uso de una referencia de función en rampa de velocidad, aplicada por el sistema de referencia 62 a un detector 80 de error de velocidad de tipo usual, donde se compara con la señal de velocidad efectiva o real. La señal de error de velocidad resultante se caracteriza por un porcentaje de regulación de velocidad, según se indica en el recuadro 82, y se aplica luego a los controles de válvula de entrada 54 de la turbina, donde constituye la señal de demanda DT de posición de las válvulas de entrada.

9.1.70

373364

13 E



Los controles 54 hacen funcionar entonces los activadores
52 hasta corregir las posiciones de las válvulas de entra-
da 24. En la mayoría de los casos, el control de las vál-
vulas de entrada implica cierta secuencia en las válvulas
5 de entrada, y los mandos 54, por consiguiente, incluyen
circuitos de control de dicha secuencia, de tipo usual.
Durante el control de la velocidad, el generador de función
76 permanece desactivado, y el funcionamiento del sistema
en derivación continúa a fin de controlar la presión de
10 admisión.

Tras la sincronización y el cierre de los interrup-
tores de la central, se empieza a cargar la turbina 14, y
el control de la presión de admisión se traslada de las
válvulas de derivación a las válvulas de turbina. Este -
15 traslado o transferencia se realiza adecuadamente, por ejem-
plo, mediante la puesta en acción de unos circuitos de trans-
ferencia sin sacudidas, incluidos en el selector 74, al
ponerse en funcionamiento el generador 76 de funciones pa-
ra generar la demanda DT. Tras la carga inicial, la cen-
20 tral pasa al modo de trabajo en carga, en el que la tur-
bina 14 se hace trabajar bajo control de la presión de -
admisión siguiendo las variaciones de carga correctoras -
efectuadas en el nivel de trabajo del reactor. En el modo
de control de carga con seguimiento de la turbina, las vál-
25 vulas de derivación 32 se cierran para impedir que pase -
vapor de derivación o desvío, excepto en respuesta al tra-
bajo del generador de función 78.

Durante el trabajo inicial en carga, y durante
el trabajo con seguimiento de turbina, un detector de error
30 de carga 84 compara la señal de referencia de carga con -
la carga real y efectiva representada por la salida del -
detector 66 de presión de impulsión, y genera una señal de
error que se hace pasar por un limitador de seguridad 86



de la central y se aplica al sistema de control 48 del -
reactor. En ese punto, el error de carga se suma algébricamente con cualquier señal de error o de participación de la frecuencia, para constituir el punto de ajuste de
5 carga del reactor. El funcionamiento del reactor viene -
controlado por el sistema de control 48 como antes se ha
dicho.

A medida que se regula el reactor 16 para satisfacer la demanda de carga ajustada en frecuencia, el regulador de presión 68 ó 70 genera una señal de control de
10 válvulas de la turbina, proporcional en magnitud al error de presión de admisión, y sobre la cual se opera con el generador de función 76 para dar la señal DT. La ganancia aplicada por los controles 54 de válvula de entrada de la
15 turbina determina la velocidad o régimen de variación del flujo de vapor de la turbina sin exceder de los límites de la presión de toma, hasta que se satisface la demanda de carga de la central.

Para acelerar la acción de control de seguimiento de la turbina, hay un ajustador 90 del punto de ajuste de la presión de admisión, de tipo usual, provisto de una función de transferencia que posee una caracterización -
dinámica adecuada. Responde a la señal de error de carga limitada, y modifica transitoriamente el punto de ajuste
20 SP del regulador de presión, en particular cuando se efectúan cambios bruscos o en escalón en la demanda de carga.

Durante el control de la carga, a los controles 54 de las válvulas de entrada se aplica la señal eléctrica de error de velocidad, pero esta señal no produce acción de control hasta que la velocidad de la turbina so-
30
9.1.70

373364



5 brepasa un valor prefijado, tal como el 102% del nominal.
La iniciación del control de velocidad viene eléctrica-
mente determinada, por ejemplo, mediante el uso de cir-
cuitos lógicos a base de diodos (no representados), en -
10 los circuitos de entrada de los controles de las válvulas
de entrada de la turbina, para determinar en qué momento
la señal de velocidad excede del valor asignado. Cuando
el bucle de control de velocidad entra en acción en el -
modo de control de carga, la demanda de posición DT de -
15 las válvulas de la turbina se hace igual a la suma de la
señal de control de velocidad y la señal de control de la
presión. El bucle de retroacción de velocidad incluye el
detector 80 de error de velocidad, el regulador de veloci-
dad porcentual 82 y los controles o mandos electrohidrául-
20 licos 54 de las válvulas de entrada. Así, durante los -
embalamientos de la turbina, el bucle de control de velo-
cidad compensa el funcionamiento por control de presión,
produciendo un cierre progresivo de las válvulas de entra-
da al aumentar la velocidad de la turbina, y la inicia-
25 ción del control de velocidad se hace a un valor de emba-
lamiento o exceso de velocidad particular de la turbina,
independiente del nivel de carga de la turbina. De ese
modo se logra un mejor funcionamiento de la central bajo
control por seguimiento de la turbina, y se pueden obte-
30 ner beneficios similares en el control coordinado de la
central. La salida del detector de presión de impulsión
se combina con la salida del generador 78 de función de
válvulas de derivación, en el limitador 88, a fin de man-
tener el flujo o gasto total de vapor del reactor por ba-
jo de un valor prefijado.



El la fig. 3 se ilustra un sistema 92 de control coordinado, para hacer funcionar una central de turbina de vapor y reactor. El sistema de control 92 incluye unos componentes semejantes a los empleados en el sistema de control 60 de la fig. 2, pero algunas diferencias en los componentes y una interacción distinta permiten mejorar el funcionamiento.

Se emplea aquí también un sistema numérico de referencia 94 para generar una referencia eléctrica de carga y una referencia eléctrica de velocidad. El canal de control de velocidad, en este caso, incluye también un detector de error de velocidad 96 que genera una señal de error de velocidad significativo de la diferencia entre la señal de referencia de velocidad y la señal de salida del detector de velocidad 64, que representa la velocidad real y efectiva de la turbina. La señal de error de velocidad se caracteriza por una regulación porcentual en el bloque o recuadro 98, y se aplica al sistema 48 de control del control del reactor y a los mandos electrohidráulicos 54 de las válvulas de entrada, como en el caso de la fig. 2. El bucle de realimentación de control de velocidad control la aceleración de la turbina durante el arranque, la participación de la frecuencia mientras se trabaja en el modo de carga, y la deceleración de la turbina durante la parada en aquellos casos en que no se emplea un método de reducción de marcha por inercia sin carga.

Durante el control de carga, un detector usual de errores de carga 100 genera una señal representativa del error de carga, en respuesta a la diferencia existente entre la señal de referencia de carga y la señal de -

30
9.1.70

373364

13 ENE



5 salida del detector 66 de presión de impulsión, que representa la carga real y efectiva de la turbina. Tras la limitación efectuada en el bloque 102, la señal de error de carga se aplica al sistema 48 de control del reactor para mantener el nivel de potencia del reactor de acuerdo con la demanda de carga de la central.

10 A fin de obtener un funcionamiento de la central más rápido, más coordinado, más eficaz y económico y más confiable durante el modo de control de carga, el control coordinado 92 incluye asimismo un bucle de control de carga parcialmente indicado por el carácter de referencia 104, en el cual la demanda de carga, preferiblemente en forma de señal de referencia de carga, se aplica directamente a los controles o mandos electrohidráulicos 54 de entrada, 15 sujetos a la limitación o constricción producida por un sistema 106 de control de la presión de admisión. En casos alternos, la señal de demanda de carga podría ser la de error de carga que viene del detector 100.

20 Al hacerse cambios en la referencia de carga, o al ocurrir variaciones en la carga de la turbina para un valor fijo de la referencia de carga, la demanda total DT de posición de las válvulas de entrada se hace variar directamente para obtener un cambio inmediato de la posición de las válvulas de entrada, sujeto a la limitación impuesta por el sistema de control 106 de la presión de admisión. 25 La demanda DT de posición de las válvulas, en condiciones de funcionamiento con carga normal, es generada por un circuito adecuado en el interior del bloque 54 como suma algébrica de la señal de referencia de carga, la señal 110 de control de velocidad y la señal 108 de control de la 30

9.1.70

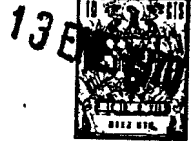


presión de admisión. La limitación impuesta a la presión de admisión resulta impuesta, pues, mediante variación de la señal de demanda total DT de posición de las válvulas. La señal de control 110 está continuamente incluida en la suma DT pero, si así conviene, es posible bloquear la inclusión de la señal 110 de control de velocidad (por ejemplo, mediante unos circuitos de diodo) para que no participe de la suma DT en condiciones de embalamiento de la turbina, hasta que la turbina alcance un valor particular o determinado de exceso de velocidad. La imposición del control de velocidad a continuación compensa el control por carga, produciendo un progresivo cierre de las válvulas de entrada de la turbina a medida que aumenta la velocidad de la turbina. Como antes, la iniciación del control de velocidad en condiciones de embalamiento o exceso de velocidad se hace entonces con independencia del nivel de trabajo en carga. En ambas figuras 3 y 4, la regulación de velocidad determina el valor de exceso de velocidad de la turbina para el cual se cierran por completo las válvulas de entrada.

Para la participación de frecuencia requerida por el aumento de carga, de igual modo se aplica el control de velocidad continuamente a las válvulas de entrada, pero puede aplicarse tan sólo después de percibida una determinada caída de velocidad por los circuitos de diodos (no representados) u otros medios adecuados que haya en los circuitos de entrada de las válvulas de control de entrada 54. De ese modo se impide que la turbina se ponga en acción para demandas secundarias o minoritarias de participación de la frecuencia.

9.1.70

373364



Volviendo al tema de control por carga, el control de carga directo de los mandos 54 de las válvulas de entrada implica en esencia el empleo de la energía almacenada en el vapor del reactor, para lograr un control de carga más rápido a medida que se hace variar el nivel de potencia del reactor para corregir el error de demanda de carga. En este sentido, el sistema 92 de control coordinado es similar al mando 60 por seguimiento de la turbina, de la fig. 2, ya que este último hace uso de un ajuste del punto de presión de admisión para aprovechar la energía almacenada en el vapor para una más rápida respuesta de la central. Ahora bien, el control de carga directo del sistema 92 de control coordinado produce un funcionamiento - más rápido y en general mejor de la central, porque el movimiento de las válvulas de la turbina se inicia sin el - retardo de la respuesta del sistema de control de presión, y además porque el pronto movimiento de las válvulas puede hacerse siempre con la calibración óptima, es decir, hasta el punto permitido por la limitación del control del sistema por la presión de admisión. En contraste, el empleo del ajuste del punto de la presión de admisión, en los sistemas de seguimiento de turbina, trae consigo una precaracterización fija de la respuesta de control de las válvulas de la turbina, sin calibración de la totalidad de las condiciones variables del proceso.

La señal de demanda total DT de posición de las válvulas de entrada proviene de equilibrar la señal de referencia de carga y, en lo aplicable, de la señal de control de velocidad contra la señal 108 procedente del sistema de control 106 por presión de admisión. Las señales PDIV de re

9.1.70



troacción de posición de las válvulas se comparan con las
de demanda individuales de posición de las válvulas (DTL,
... DT_n), como en la fig. 2, hasta que el error de posición
de las válvulas es eliminado por la acción de control -
5 proporcional más reposición. La componente de señal 108 de
control de presión, de la señal DT de demanda de posición
de las válvulas, tiene por efecto modificar la señal de
referencia de carga, dirigiendo el posicionamiento de las
válvulas de entrada de modo que satisfaga la demanda de
10 carga, así como las limitaciones de la presión de admisión.

Al aplicar la demanda de carga directamente a los
mandos 54 de las válvulas de entrada de la turbina, es po-
sible que tienda a crearse una condición de reacción o -
realimentación positiva, a menos que se impida de alguna
15 manera. Por ejemplo, un aumento en la demanda de carga exi-
ge un mayor gasto de vapor y una presión de impulsión más
alta. Así, pues, se necesita un movimiento de apertura de
las válvulas del regulador, pero esto hace que se pierda
presión de admisión, lo que a su vez es causa de una menor
20 presión de impulsión y hace necesario un mayor movimiento
de apertura de las válvulas del regulador.

El sistema de control 106 de presión de admisión
permite dirigir la acción de las válvulas de entrada a sa-
tisfacer la demanda de carga dentro de las limitaciones de
25 la presión de toma, y al hacerlo así se evita el desarro-
llo de la acción de realimentación positiva de las válvu-
las de entrada. Así, la señal 108 de control de presión -
es generada por un circuito sumador 112 de tipo usual, co-
mo suma algébrica de las respectivas señales procedentes
30 de un generador de función de presión 114 y de un genera-

9.1.70

373364

13



dor 116 de función de error de presión.

5 Como en el caso de la fig. 2, la señal de presión de admisión viene acoplada desde el detector 72 de presión de toma a la entrada de un regulador de presión 118 y de un regulador 120 de presión de apoyo. Se compara un punto de ajuste SP con la señal que representa la presión de admisión real y efectiva, desarrollándose una señal de error de presión de admisión. En este caso, se emplea la acción proporcional en el regulador de presión 118 ó 120. Un selector 122 traslada la señal de error de presión de admisión, que sale de uno de los reguladores de presión 118 ó 120, transfiriéndola a la entrada del generador de función 116, por el procedimiento de selección antes descrito. La función de transferencia para el generador 15 116 es como la describe para el generador de función 76 de la fig. 2.

Las entradas al generador de función de relación o cociente 114 son la señal de salida del detector 72 de presión de admisión y la señal de salida del detector 66 de presión de impulsión. La señal de salida del generador 114 es una función determinada de la relación o cociente entre la presión de impulsión P_i y la presión de admisión P_o . De preferencia, la función de transferencia se elige de modo que haga la señal de salida del generador 25 114 sensiblemente constante cuando la turbina se mantiene a carga constante, es decir, a P_i constante. Esta característica permite aplicar las acciones de control de la presión de admisión a los controles 54, cuando no hay error o diferencia de carga. En el generador 114 se emplean unos circuitos adecuados (no representados en los 30

9.1.70



dibujos); es posible usar, por ejemplo, un circuito potenciométrico usual para generar la señal de relación o cociente, y un circuito lógico usual de franqueo de paso - para bloquear o dejar pasar la señal de relación de acuerdo con la función de transferencia.

5 La relación o cociente entre P_i y P_o es proporcional al área total de válvulas de entrada, a su vez - esencialmente lineal respecto a la carga, a la presión de toma nominal. Así, la relación entre P_i y P_o actúa como
10 realimentación de carga, equilibrada contra la señal de referencia de carga para formar la señal de demanda total DT. La realimentación de relación o cociente elimina toda reacción o realimentación positiva, ya que un cambio de
15 posición de las válvulas hecho para satisfacer una variación en la demanda de P_i da origen a un cambio de polaridad de signo contrario en la relación o cociente. El canal de control de la presión de admisión, que incluye el regulador 118 ó 120 y el generador de función 116, aplica una acción limitadora de la presión de admisión, al satisfacerse la demanda de carga mediante el control de realimentación de relación o cociente.

20 Si así conviene, el circuito sumador 112 puede combinarse en el bloque 54. En tal caso, la señal de demanda total DT de posición de válvulas durante el control
25 de la carga es igual a la suma algebraica de la señal de referencia de carga, la señal de relación de presiones como retroacción de carga, la señal de limitación de la presión de admisión, procedente del generador de función 116 y, en lo aplicable, la señal 110 de control de la velocidad.

30
9.1.70

373364

13E



En el sistema de control coordinado 92 se emplea también un ajustador 124 del punto de presión de admisión. El ajustador 124 responde a la señal de error de carga limitada, reduciendo o aumentando dentro de sus límites el punto de ajuste SP del regulador de presión, para impedir el cierre o la apertura de las válvulas de entrada de la turbina, al aumentar o disminuir, respectivamente, la demanda de carga. Si la presión de admisión cae por bajo, o sube por encima, del punto de ajuste establecido, el sistema de control hace que las válvulas de entrada de la turbina se cierren o abran, según el caso.

El sistema de control de presión 106 incluye - asimismo un generador de función 126 de válvula de derivación, que da una señal de control de válvula de derivación de la manera descrita para la fig. 2, de modo que el vapor no necesitado por la turbina 14 durante el control de carga se desvíe directamente al condensador 30. La señal DB de demanda total de válvulas de derivación se deriva de la señal de control de derivación, con sujeción a la limitación de presión de impulsión impuesta por un limitador 128.

Del uso de la invención se deriva un perfeccionamiento de la central de turbina de vapor y reactor nuclear. Este perfeccionamiento incluye un mejor funcionamiento con mayor economía, rendimiento y fiabilidad. El control coordinado proporciona un funcionamiento o manejo de la central más rápido y mejor coordinado, dentro de las posibilidades de la central.

Con la central trabajando tanto en el modo de control por seguimiento de la turbina como en el de con-

9.1.70



trol coordinado, se usan mandos electrohidráulicos. Las partes eléctricas de los sistemas se describen aquí en términos analógicos, pero es posible emplear sistemas numéricos, que incluyan calculadoras numéricas, para efectuar el funcionamiento del sistema expuesto. Además, tanto los sistemas de control analógicos como los numéricos pueden emplear circuitos de control de equipo físico y/o de programa que difieran en detalles de lo aquí descrito, especialmente por lo que concierne al sistema de control coordinado.

La presente solicitud, que corresponde a la presentada en Estados Unidos de América, el 26 de Noviembre de 1.968, bajo el Nº 779.075, se acoge a los beneficios del Artículo 51 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.

REIVINDICACIONES

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 siguientes:

1.- Un sistema para controlar el funcionamiento de una central, de reactor nuclear y turbina de vapor, que tiene turbinas de vapor controladas por válvulas de entrada de vapor, que comprende medios para generar una primera señal eléctrica que representa la demanda de car-

9.1.70



373364



ga, medios para generar una segunda señal eléctrica que
representa la demanda de velocidad de la turbina, medios
para generar una tercera señal eléctrica que representa
la velocidad real de la turbina, medios para generar una
5 cuarta señal eléctrica que representa la presión de admi-
sión del vapor suministrado a la turbina por el reactor,
y medios para generar una quinta señal eléctrica que repre-
senta el error de velocidad de la turbina, comprendiendo
además dicho sistema medios que responden a la primera se-
10 ñal eléctrica para controlar el funcionamiento del reac-
tor para adaptarse a la demanda de carga, caracterizado
porque dicho sistema incluye medios de limitación que res-
ponden a la cuarta señal para limitar el funcionamiento
de las válvulas de entrada, con lo cual se restringe la
15 presión de admisión dentro de los límites predeterminados,
y medios para controlar la posición de la válvula de en-
trada en respuesta a la quinta señal de error de veloci-
dad, dentro de los límites impuestos por los medios de li-
mitación.

20 2.- Un sistema según la reivindicación 1, caracte-
rizado porque la central incluye una disposición de de-
riviación de turbina de vapor controlada por válvula, para
desviar temporalmente vapor cuando es producido por el
reactor pero no precisado por la turbina.

25 3.- Un sistema según las reivindicaciones 1 ó
2, caracterizado porque dichos medios de control para el
citado sistema de control de válvula de entrada, incluyen
medios para generar una sexta señal eléctrica correspon-
diente a la relación de la presión de impulsión de la tur-
30 bina a la presión de admisión, y porque los medios de con

9.1.70

373364

13 ENE



trol para dicha válvula de entrada proporcionan control de funcionamiento de válvula de entrada, al menos en respuesta a las señales sexta, primera y cuarta.

5 4.- Un sistema según la reivindicación 3, caracterizado porque los medios de control para las válvulas de entrada incluyen al menos un controlador de presión - analógico que responde a un punto de referencia de la presión de admisión y a una señal de presión de admisión, y medios que responden al menos a la señal de error de presión de admisión, a la primera señal, y a la sexta señal, para generar una señal de demanda de posición de la válvula para las válvulas de entrada.

10 5.- Un sistema para controlar el funcionamiento de una central, de reactor nuclear y turbina de vapor.

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 ventiocho hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid,

13 ENE 1970

P.A.

Alberto de Elizaburu
Por Poderes

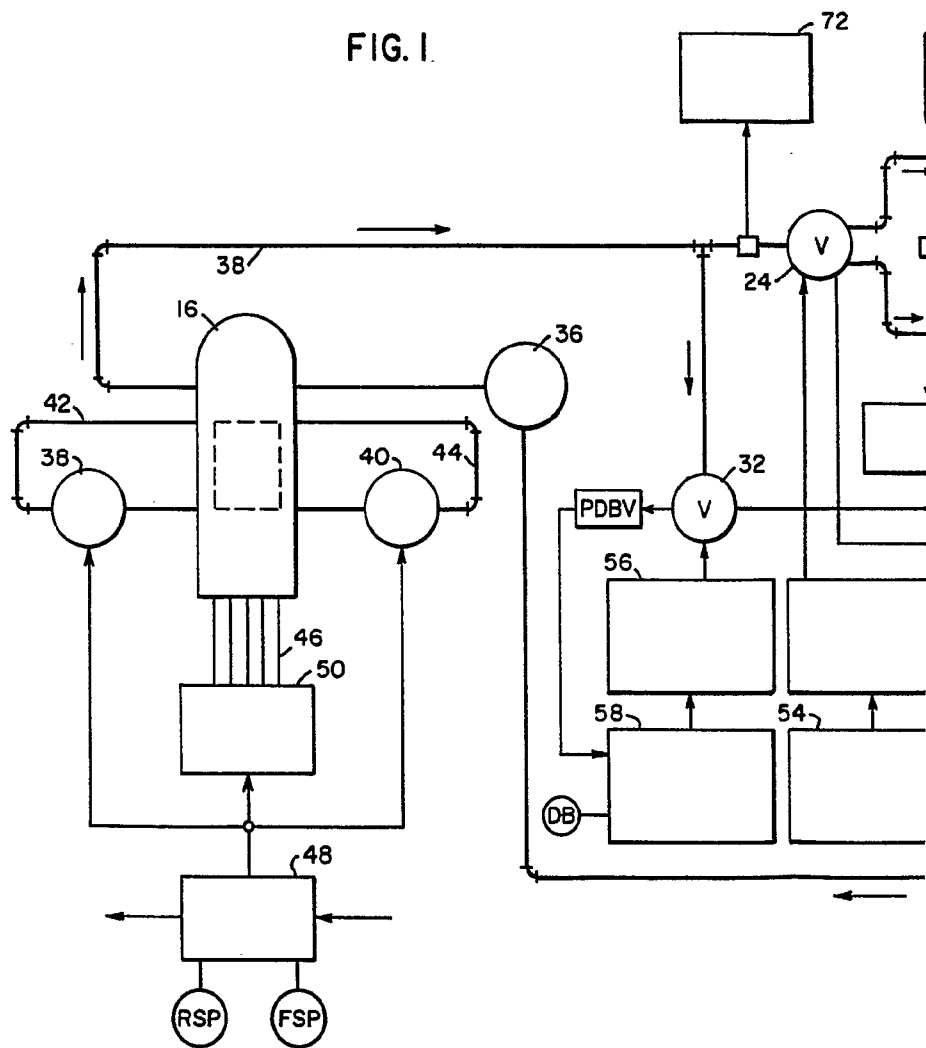
9.1.70

MSG



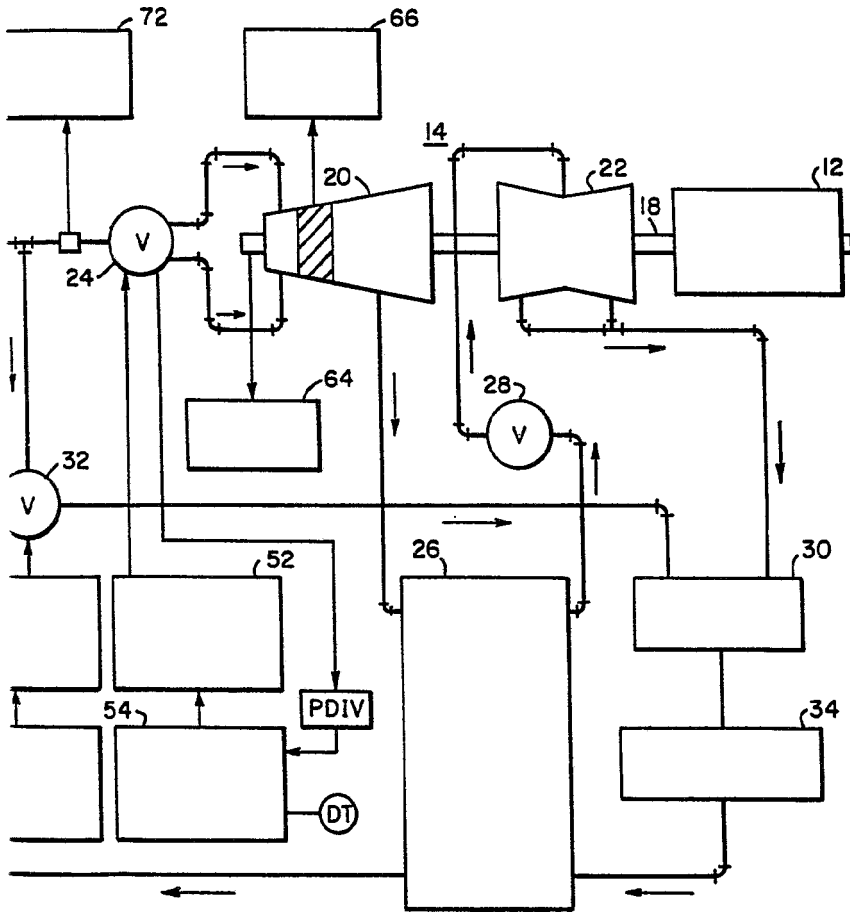
373364

FIG. I.



P43231

373364



Alberto de Rivas
For Podar

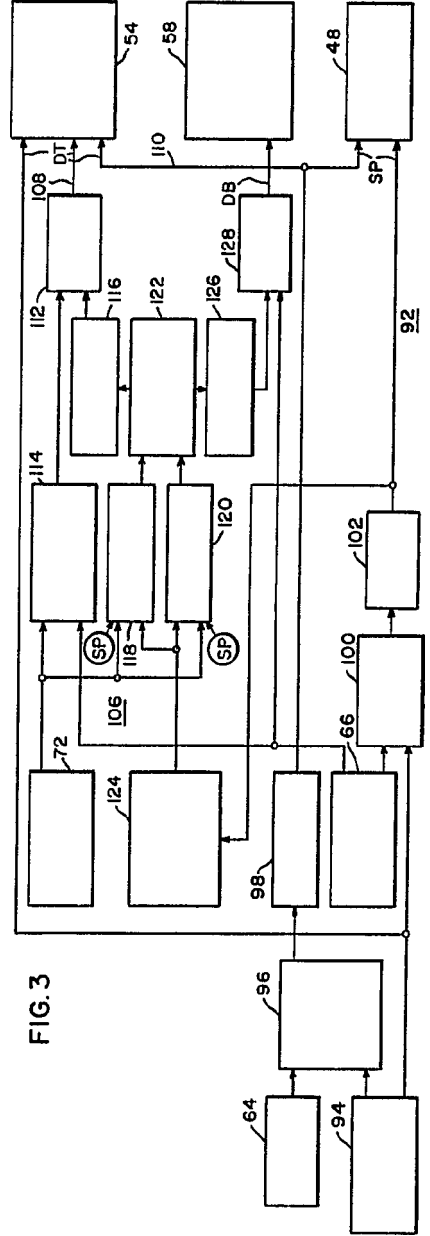
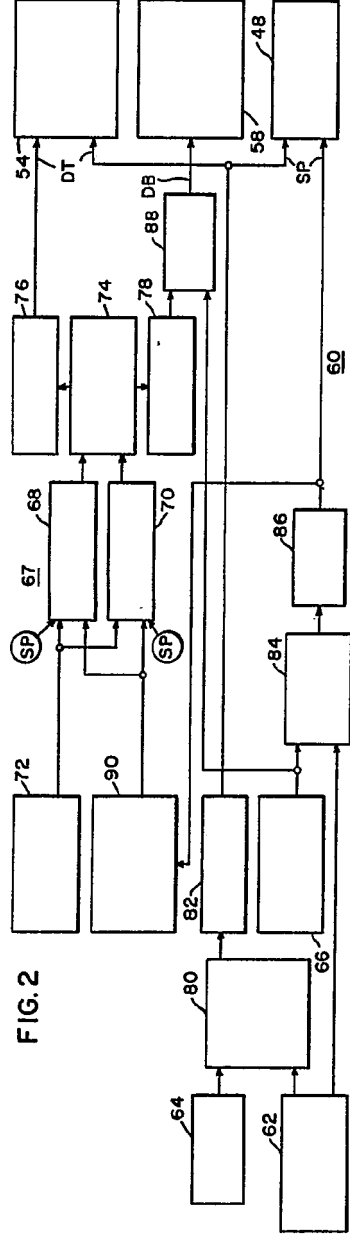
P4 3231



13

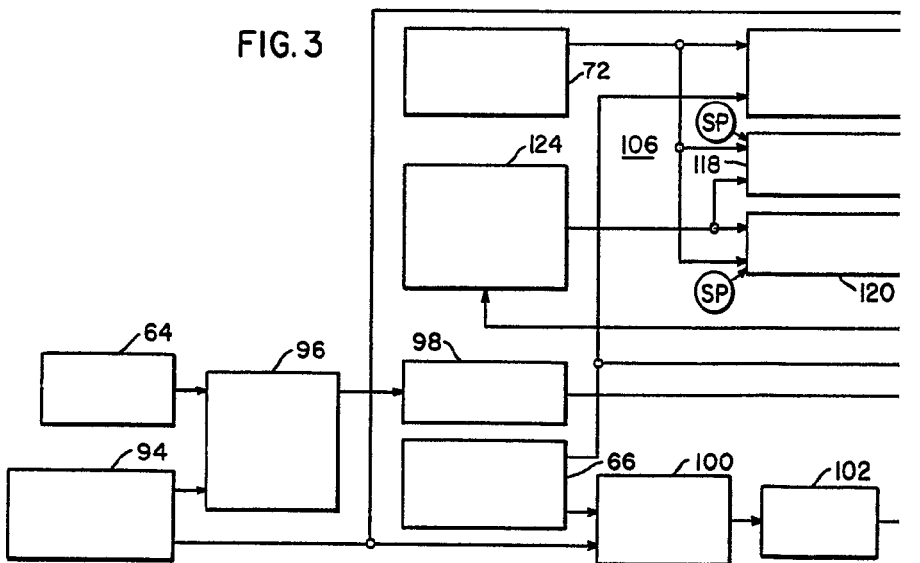
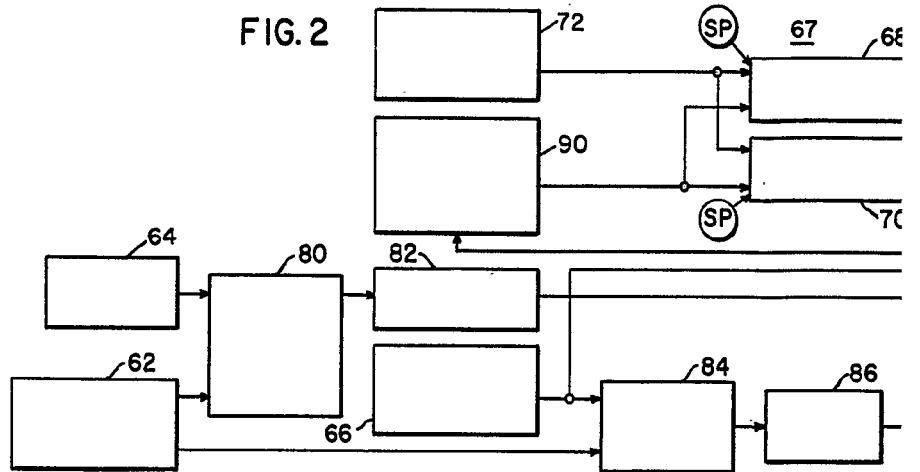
373304

373364



Alberto de Aguilar
Por Poder

373364

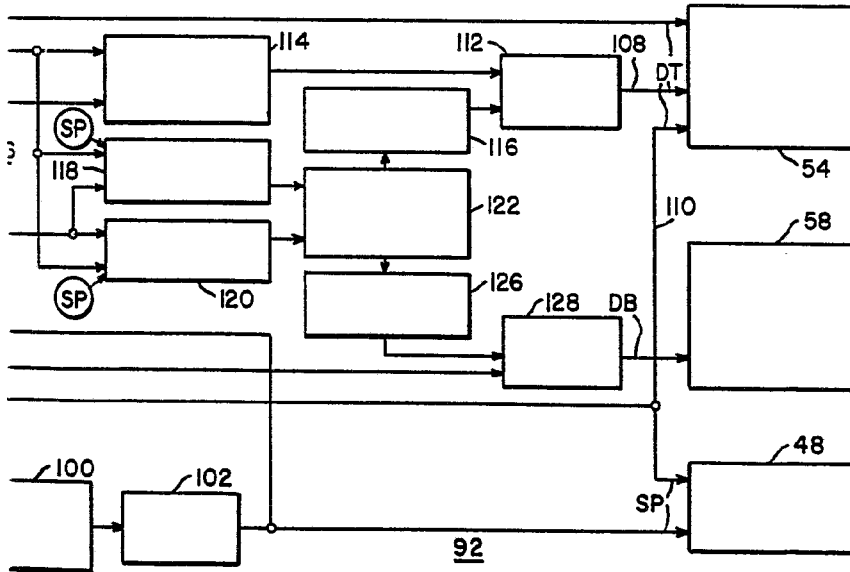
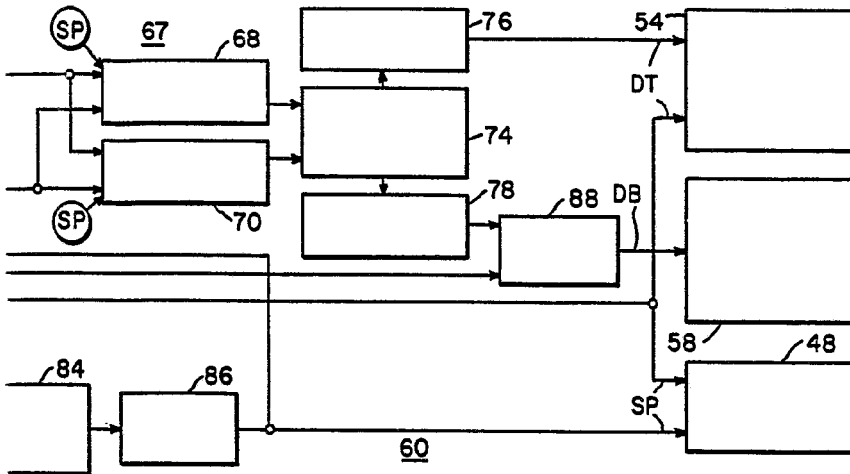


P43731

43



373364



Alberto de Elzaburu
For Pader.