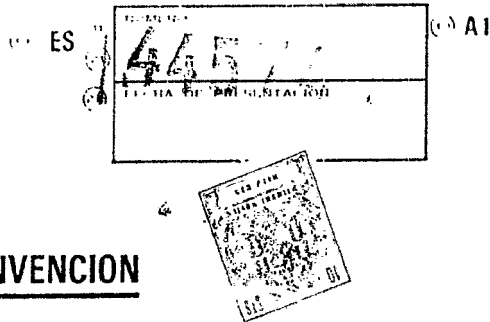




ESPAÑA



PATENTE DE INVENCION

(30) PRIORIDADES (31) NUMERO EN.75 06746			(32) FECHA 4 de marzo de 1.975			(33) PAIS Francia.		
(47) FECHA DE PUBLICIDAD			(51) CLASIFICACION INTERNACIONAL G21C			(62) PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA		
(54) TITULO DE LA INVENCION PROCEDIMIENTO Y DISPOSITIVO DE CONTROL TERMICO DEL NUCLEO DE UN REACTOR NUCLEAR.								
(71) SOLICITANTE (S) COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE.								
DOMICILIO DEL SOLICITANTE 29, rue de la Fédération, Paris 15 <sup>e</sup> , Francia.								
(72) INVENTOR (ES)								
(73) TITULAR (ES)								
(74) REPRESENTANTE GOMEZ ACEBO.								



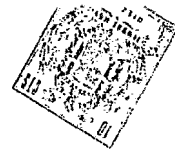
La presente invención tiene por objeto un procedimiento y dispositivo de control térmico del núcleo de un reactor nuclear.

5. Se sabe que para un reactor nuclear en funcionamiento, la temperatura es una magnitud física a vigilar cuidadosamente, puesto que esta última no debe, en un punto dado de vigilancia del reactor, alejarse de un cierto valor, función de las propiedades de los materiales situados cerca del punto de vigilancia. Tan es así que las temperaturas del refrigerante, en los montajes combustibles, deben siempre ser tales que la temperatura de vaina no sobrepase en ningún caso un cierto máximo admisible.

10. Anteriormente a la presente invención, era usual controlar térmicamente el núcleo de un reactor a partir del aumento de temperatura engendrada en el seno del fluido refrigerante por la travesía de los montajes combustibles captando sucesivamente, por una parte, la temperatura del refrigerante en un punto situado aguas arriba de los montajes, y por otra parte las temperaturas del refrigerante a la salida de cada montaje.

15. 20. Conviene hacer notar que dicho procedimiento efectuado periódicamente no permitirá descubrir rápidamente un eventual aumento brusco de temperatura que se produjera en un montaje entre dos medidas sucesivas efectuadas sobre este montaje y que dicho procedimiento podría además ser falseado cuando una variación importante de temperatura sobreviniera aguas arriba de los montajes.

25. 30. La presente invención tiene por objeto un procedimiento de control térmico del núcleo de un reactor nuclear que evita los inconvenientes evocados anteriormente



uesto que tiene en particular la ventaja de permitir un control permanente de cada montaje del reactor.

5. De un modo más preciso, el procedimiento de control térmico del núcleo de un reactor, objeto de la invención, que comprende montajes combustibles "calientes" y "fríos", efectuado a partir de las temperaturas del refrigerante captadas a la salida de una pluralidad de los montajes combustibles, -se caracteriza porque consiste:

10. - en establecer en cada instante por una parte, la temperatura media de salida del núcleo haciendo la semi-suma de las temperaturas medias "caliente" y "fría" de salida del núcleo correspondiente respectivamente a la media de las temperaturas del refrigerante a la salida de al menos una parte de los montajes "calientes" y a la media de las  
15. temperaturas de al menos una parte de los montajes "fríos" y por otra parte, la diferencia entre las temperatura medias "caliente" y "fría" de salida del núcleo,

20. - en elaborar para cada uno de los montajes una señal analógica que corresponde a la diferencia de temperatura entre la temperatura del refrigerante a la salida del montaje y la temperatura media de salida del núcleo, aumentada o disminuida inicialmente en una fracción determinada de la diferencia entre las temperaturas medias "caliente" y "fría" de salida del núcleo de modo a definir un estado de equilibrio  
25. para el cual la diferencia de temperatura sea igual a cero,

30. - en tratar la señal de modo a disparar automáticamente las acciones de seguridad apropiadas por rebase de umbrales que corresponden a las fluctuaciones de temperaturas toleradas a una y otra parte del cero de equilibrio.

El procedimiento tal como se ha caracterizado



5. anteriormente permite efectuar un control relativo permanente de las temperaturas del núcleo de un reactor, sin necesitar una comparación permanente con la temperatura de entrada del refrigerante, puesto que consiste en descubrir en todo instante, una eventual anomalía de enfriamiento localizada en uno de los montajes del núcleo por comparación con el enfriamiento en el mismo instante del conjunto del núcleo.

10. El método de cero consiste en comparar continuamente la temperatura de salida del refrigerante de cada uno de los montajes controlados del núcleo a la temperatura media de salida del conjunto del núcleo estableciendo inicialmente un estado de equilibrio analógico tal que la diferencia entre estas dos temperaturas comparadas sea anulada por una fracción de la diferencia entre las temperaturas medias "caliente" y "fría" de salida del núcleo, constituyendo la fracción una magnitud característica de cada uno de los montajes puesto que es función de la posición en el núcleo del reactor del montaje considerado.

20. De un modo más preciso, el procedimiento de la invención puede ser presentado a título explicativo de la siguiente manera:

25. - si una señal  $u_k$  representa la temperatura de salida del refrigerante del  $k^{\text{ésima}}$  montaje, captada por ejemplo por un termopar, a la salida del  $k^{\text{ésimo}}$  montaje,

- si una señal  $u_c$ , elaborada analógicamente a partir de un cierto número de señales  $u_k$  que corresponden a montajes combustibles "calientes" del núcleo, representa la temperatura media "caliente" de salida del núcleo,

30. - si una señal  $u_f$ , elaborada analógicamente



a partir de un cierto número de señales  $u_k$  que corresponden a montajes combustibles "fríos" del núcleo, representa la temperatura media "fría" de salida del núcleo, el procedimiento consiste en seguir la evolución de la señal:

5. 
$$E_k = u_k - \frac{u_c + u_f}{2} + c_k (u_c - u_f)$$

$\frac{u_c + u_f}{2}$  midiendo la temperatura media de salida del núcleo  $u_M$  y  $c_k$ , característica del  $k^{\text{ésimo}}$  montaje que se fija durante una regulación inicial de modo que la señal  $E_k$  sea nula.

10.

Toda anomalía de enfriamiento para uno de los montajes, que modifica de forma notable la señal  $u_k$ , ocasiona un desequilibrio que, según su importancia, dispara automáticamente las acciones de seguridad necesarias tales como una pre-alarma, una parada de urgencia o un descenso de barra. Conviene hacer notar, que si el montaje de orden  $K$  sufre a un enfriamiento anormal, participa en la elaboración de las señales  $u_M$  y  $u_c - u_f$ , estas últimas no son perturbadas más que de forma ligera.

15.

20.

La presente invención tiene igualmente por objeto un dispositivo de puesta en práctica del procedimiento de la invención que, de forma general, comprende:

25.

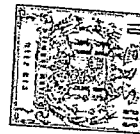
-  $N$  termopares en número igual al número  $N$  de los montajes controlados del núcleo,

-  $N$  vías de medida conectadas individualmente a cada uno de los  $N$  termopares que comprenden cada una en serie:

. al menos un amplificador de la señal captada por el termopar,

. un amplificador sumador a la salida del anterior amplificador e igualmente a la salida de dos cir-

30,



5. circuitos analógicos asociados, alimentados por algunas, al menos de las N vías de medida, que comprenden cada uno medios que permiten a uno proporcionar una señal correspondiente opuestamente a la temperatura media de salida del núcleo y al otro, una señal correspondiente a la fracción apropiada de la diferencia entre las temperaturas medias "caliente" y "fría" de salida del núcleo,

10. . a la salida del amplificador sumador, dispositivos que comprenden diferentes umbrales de pre-alarma, de parada de urgencia y/o de descenso de barra, proporcionando cada uno de los dispositivos, en caso de rebase del umbral correspondiente, por mediación de al menos un circuito 0 de reagrupamiento, las señales de control de las órdenes apropiadas.

15. Otras características y ventajas de la invención se pondrán de manifiesto más claramente con el transcurso de la descripción que sigue de un ejemplo de realización del procedimiento dado a título de ejemplo no limitativo.

20. En este ejemplo de puesta en práctica de la invención, se realiza de forma totalmente satisfactoria el control térmico del núcleo de un reactor de neutrones rápidos refrigerado por un metal líquido en particular por sodio, lo que presenta un gran interés puesto que la vigilancia del punto "caliente" de las vainas es, para este tipo de reactor, de primera importancia.

25. El núcleo de un reactor nuclear de este tipo se describe en particular en el boletín informativo científico y técnica nº 182 de junio de 1.973.

30. Esta descripción se refiere a la figura única anexa que ilustra esquemáticamente el dispositivo objeto de la



invención.

5. Por lo demás, conviene hacer notar que en esta descripción la expresión "montajes combustibles" designa a la vez los montajes que contienen material fisiónable y los montajes que contienen unicamente material fértil.

10. En esta figura unicamente se han esquematizado, en su conjunto, dos de las N vias de medida, es decir A y B. Cada una de estas N vias de medida se acopla a uno de los N montajes controlados del núcleo, y consecuentemente, la asociación completa de los dos circuitos de cálculo C y D con el conjunto de las N vias de medida será expuesta en su principio sin ser integralmente representada.

15. En la figura, se ha representado en 1, 2, 3 y 4 cuatro de los N captadores de temperatura, constituidos por termopares que alimentan cada uno a una de las N vias de medida, tales como A y B.

Una cualquiera de las vias de medida es de constitución idéntica a la de la via A que comprende en serie los dispositivos siguientes:

20. - un órgano de amplificación de la medida anteriormente efectuada por el termopar 1, constituido por ejemplo por dos amplificadores 5 y 6 montados en cascada que, a fin de descubrir pequeñas fluctuaciones de temperatura, poseen una ganancia apropiada,

25. - un amplificador sumador 7 cuyas tres entradas reciben respectivamente, según las características esenciales de la invención, la señal anteriormente amplificada de medida de salida del montaje correspondiente a la via de medida A, la señal elaborada por el circuito C correspondiente opuestamente a la temperatura media de salida del nú-  
30.



- cleo, y la señal elaborada por el circuito D correspondiente a la fracción de la diferencia entre las temperaturas medias "caliente" y "fria" de salida del núcleo tal que inicialmente la señal emitida por el sumador 7 de la vía A sea nula,
5. - dispositivos 8, 9 y 10 que comprenden respectivamente un umbral de pre-alarma, de parada de urgencia y de descenso de barra, constituido por ejemplo por amplificadores en bucle abierto, que pueden ser accionados por señales positivas o negativas merced a la adición en derivación sobre la salida del amplificador sumador 7 de un diodo 7a y de un amplificador 7b de ganancia 2 que rectifica las polaridades negativas,
10. - circuitos 0 de reagrupamientos 11, 12, 13 que, cuando reciben respectivamente a la entrada las señales eventualmente proporcionadas por cada uno de los dispositivos 8, 9 y 10 de cada una de las vías de medida análogas a la vía A, disparan las acciones de seguridad corriente tales como la pre-alarma, la parada de urgencia o el descenso de barra.
15. La composición de los circuitos de cálculo C y D deriva directamente de las operaciones a efectuar a partir de dos conjuntos de temperaturas medidas por una parte en algunos de los montajes mas "calientes" del núcleo y, por otra parte, en algunos de los montajes más "frios" del núcleo.
20. Así pues, los circuitos C y D comprenden en primer lugar en común dos amplificadores operacionales 14 y 15:
25. - el amplificador 14 de elaboración de una señal correspondiente a la temperatura media "caliente" de salida del núcleo está dispuesto a la salida de algunos de
- 30.



los amplificadores de medida 6 seleccionado entre aquellos que pertenecen a vias de medida tales como A conectadas a montajes "caliente" del núcleo,

5. - el amplificador 15 de elaboración de una señal correspondiente a la temperatura media "fria" de salida del núcleo está dispuesto a la salida de algunos de los amplificadores de medida 6 seleccionados entre aquellos que pertenecen a vias de medida conectadas a montajes "frios" del núcleo.

10. El circuito de cálculo C cuya salida alimenta a una de las tres entradas del amplificador sumador 7 por una señal correspondiente opuestamente a la temperatura media de salida del núcleo, comprende a la salida de los amplificadores 14 y 15 un amplificador sumador 16 de ganancia  $1/2$  seguido de un amplificador inversor 17.

15. El circuito D, cuya salida alimenta igualmente a una de las tres entradas del amplificador sumador 7 por una señal que corresponde a la fracción de la diferencia entre las temperaturas medias "caliente" y "fria" de salida del núcleo, comprende, a la salida del amplificador de elaboración de la media "caliente" 14, y a la salida de un amplificador inversor 18, a su vez dispuesto a la salida del amplificador de elaboración de la media "fria" 15, un amplificador sumador 19 seguido de un conjunto 20 constituido por  
20. ejemplo por una serie de amplificadores de salidas simétricas entre las que se conectan N potenciómetros que permiten la regulación inicial de la fracción de la diferencia entre las temperaturas medias "caliente" y "fria" de salida del núcleo, de modo que la señal emitida inicialmente por el amplificador  
25. sumador 7 sea nula en cada una de las N vias de medida.  
30.



5. En este ejemplo, los amplificadores de medida 5 y 6 tienen una ganancia próxima de 235, los amplificadores de salidas simétricas del conjunto 20 una ganancia próxima de 1,5, lo que permite la obtención a la salida del amplificador sumador 7 de una señal satisfactoria. El núcleo de un reactor de neutrones rápidos contiene aproximadamente 85 montajes combustibles, y es suficiente para alimentar a cada uno de los amplificadores operacionales 14 y 15 por grupos de 10 señales.

10. Conviene por último señalar que las flechas de la figura anexa, tales como 21, simbolizan diversos relés de señalización que permiten por ejemplo en caso de rebase de los umbrales de parada de urgencia o de descenso de barra desviar la salida del sumador 7 hacia un registrador exterior de incidentes.

15. Va sin decir que, durante el control del núcleo de un reactor nuclear, los diferentes medios esquematizados en la figura son convenientemente dispuestos en el interior de correderas apropiadas fijadas en un sinóptico.

20. Este sinóptico permite la regulación inicial de los potenciales del conjunto 20 así como la regulación por una parte de los umbrales de pre-alarma y de parada de urgencia, en general combinados por mediación de un conmutador cuyas tensiones previamente reguladas son proporcionadas por amplificadores para los cuales los valores de salida pueden ser controlados, y por otra parte de los umbrales de descenso de barra de los dispositivos 10 en número inferior al número de los montajes del núcleo pero que pueden acoplarse sobre una u otra de las vías de medida.

30. El sinóptico permite además el control pro-



5. piamente dicho merced a señalizadores proporcionados a continuación de los 0 de reagrupamiento 11, 12, 13 y de cada dispositivo 8 de pre-alarma cuando estos son alimentados. Las correderas que contienen los medios esquematizados en la figura se conectan, bien entendido, a un conjunto que permite la toma de todas las medidas de los termopares del núcleo, a los vanos de seguridad para la combustión de las ordenes de descenso de barra y de parada de urgencia, así como al tablero de la sala de control.

10. Descrita suficientemente la naturaleza del invento, así como la manera de realizarlo en la práctica, debe hacerse constar que las disposiciones anteriormente indicadas son susceptibles de modificaciones de detalle, en cuanto no alteren su principio fundamental.

15. REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento y dispositivo de control termico del nucleo de un reactor nuclear, que comprende montajes combustibles calientes y frios, procedimiento efectuado a partir de las temperaturas del refrigerante captadas a la salida de una pluralidad de los montajes combustibles, el procedimiento caracterizado porque consiste en establecer en cada instante, por una parte, la temperatura media de salida del núcleo haciendo la semi-suma de las temperaturas medias caliente y fria de salida del núcleo que corresponden respectivamente a la media de las temperaturas del refrigerante a la salida de al menos una parte de los montajes calientes y a la media de las temperaturas del refrigerante a la salida de al menos una parte de los montajes frios, y por otra parte la diferencia entre las temperaturas medias caliente y fria de salida del núcleo; en elaborar para cada uno de los

30.



5. montajes una señal analógica correspondiente a la diferencia de temperatura entre la temperatura del refrigerante a la salida del montaje y la temperatura media de salida del núcleo, aumentada o disminuida inicialmente de una fracción determinada de la diferencia entre las temperaturas medias caliente y fría de salida del núcleo de modo a definir un estado de equilibrio para el cual la diferencia de temperatura sea igual a cero; y en tratar la señal de modo a disparar automáticamente las acciones de seguridad apropiadas por rebase de umbrales que corresponden a las fluctuaciones de temperaturas toleradas a una y otra parte del cerq de equilibrio.

10.

2.- Procedimiento según la reivindicación

1, caracterizado porque se elabora para cada uno de los montajes la señal analógica que representa la diferencia de temperatura efectuando la suma de tres señales que representan respectivamente la temperatura del refrigerante a la salida del montaje la opuesta de la temperatura media de salida del núcleo y la fracción de la diferencia entre las temperaturas medias caliente y fría de salida del núcleo que corresponden a la posición del montaje.

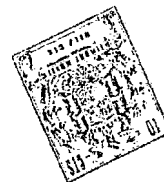
15.

20.

3.- Dispositivo para la realización del procedimiento según las reivindicaciones 1 y 2, caracterizado porque comprende N termopares en número igual al número N de los montajes del núcleo que constituyen la pluralidad; N vías de medida conectadas individualmente a cada uno de los N termopares que comprenden cada una en serie: al menos un amplificador de la señal captada por el termopar, un amplificador sumador a la salida del anterior amplificador e igualmente a la salida de dos circuitos analógicos asociados alimentados por algunas, al menos, de las N vías de medida, que

25.

30.



comprenden medios que permiten a uno proporcionar una señal correspondiente opuestamente a la temperatura media de salida del núcleo y al otro proporcionar una señal correspondiente a la fracción determinada de la diferencia entre las temperaturas medias caliente y fría de salida del núcleo, y a la salida del amplificador sumador; dispositivos que comprenden diferentes umbrales de pre-alarma, de parada de urgencia y/o de descenso de barra, proporcionando cara uno de los dispositivos, en caso de rebase del umbral correspondiente, por mediación de al menos un circuito 0 de reagrupamiento, las señales de control de las ordenes apropiadas.

4.- Dispositivo según la reivindicación 3, caracterizado porque los circuitos analógicos asociados comprenden en común dos amplificadores operacionales que proporcionan respectivamente una señal correspondiente a la temperatura media caliente de salida del núcleo, y a la temperatura media fría de salida del núcleo, estando cada uno de estos dos amplificadores dispuestos a la salida de un cierto número de los amplificadores de las señales captadas por los termopares convenientemente seleccionados en función de la naturaleza de la media a elaborar.

5.- Dispositivo según la reivindicación 4, caracterizado porque el circuito analógico asociado, que proporciona la fracción característica de cada montaje de la diferencia entre las temperaturas medias caliente y fría de salida del núcleo, comprende sucesivamente, a la salida del amplificador de media caliente y a la salida de un amplificador inversor, a su vez a la salida del amplificador de media fría, un amplificador sumador y una serie de amplificadores de salidas simétricas entre las que se conectan N potencias-

30.  
*C*



tros de regulación de la diferencia entre las temperaturas medias caliente y fría de salida del núcleo.

5. 6.- Dispositivo según la reivindicación 4, caracterizado porque el circuito analógico asociado, que proporciona la opuesta de la temperatura media de salida del núcleo, comprende a la salida de los amplificadores de media caliente y fría de salida del núcleo, un amplificador sumador de ganancia  $1/2$  y un amplificador inversor.

10. 7.- Procedimiento y dispositivo de control térmico del núcleo de un reactor nuclear, tal y como queda sustancialmente descrito en la presente Memoria e ilustrado en los adjuntos dibujos.

Esta Memoria consta de catorce hojas escritas a máquina por una sola cara.

15.

Madrid,

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE.

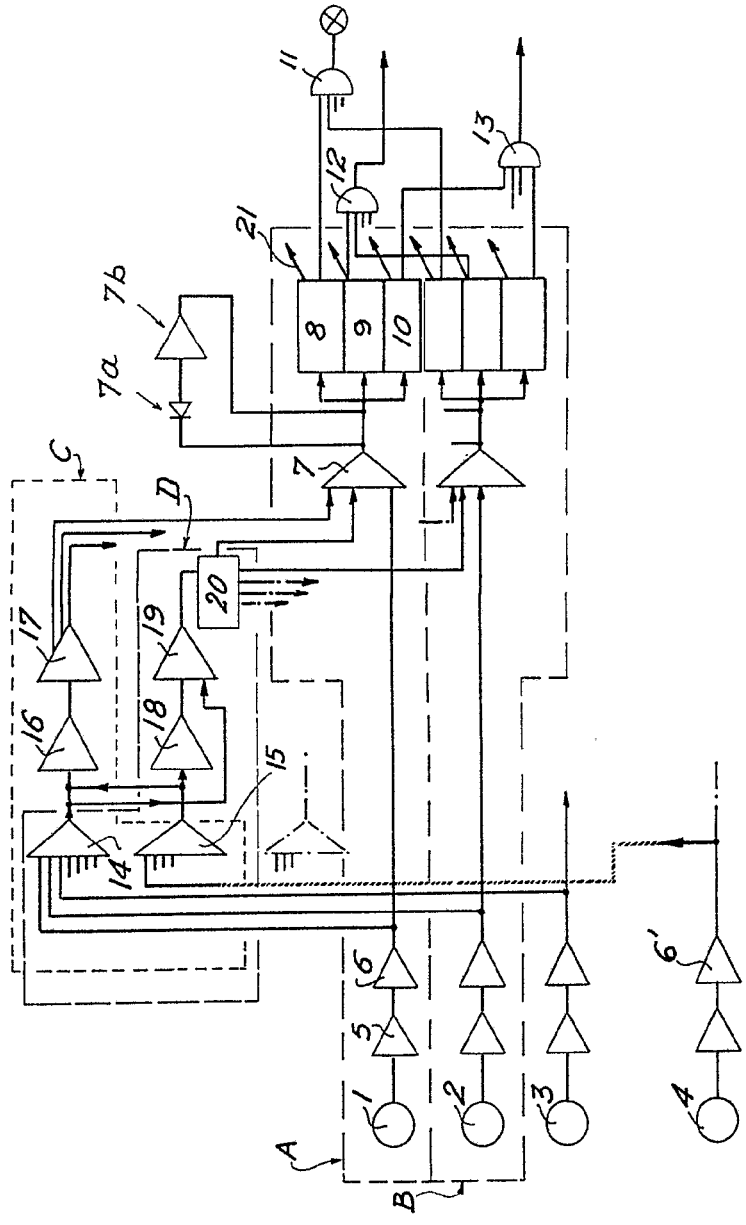
*[Handwritten signature]*  
DIRECTOR GENERAL DE ENERGIA ATOMICA  
MADRID

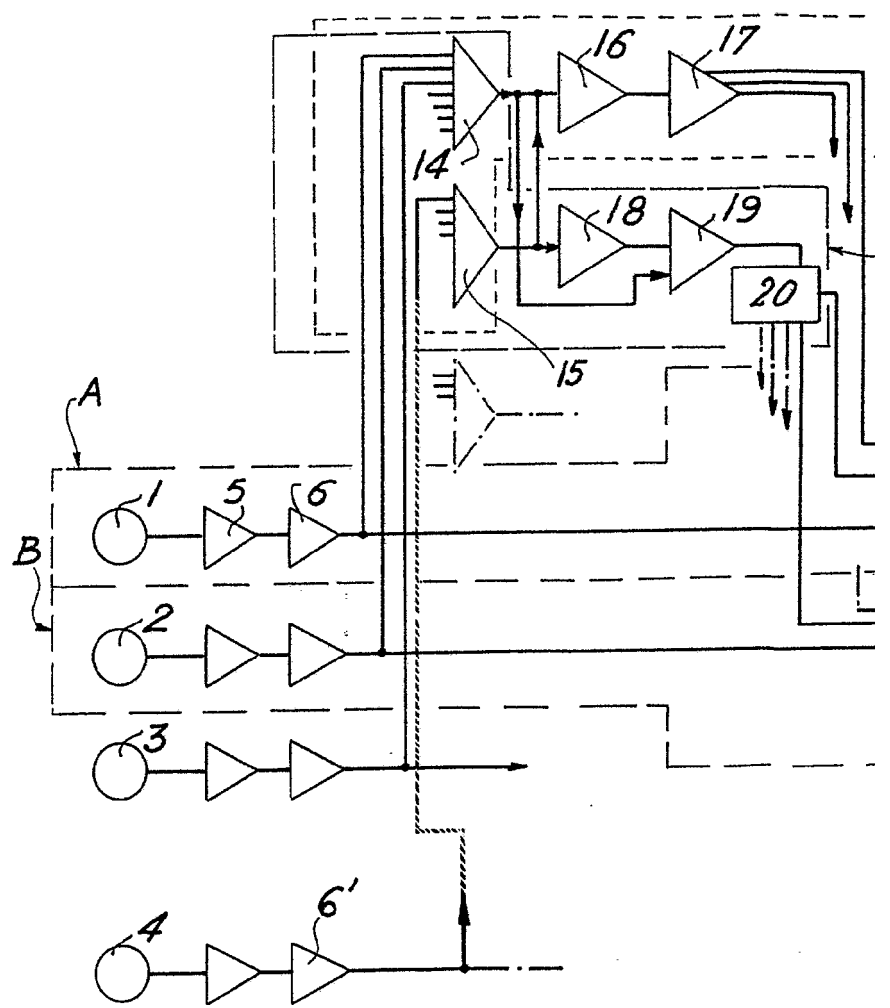
*[Handwritten mark]*

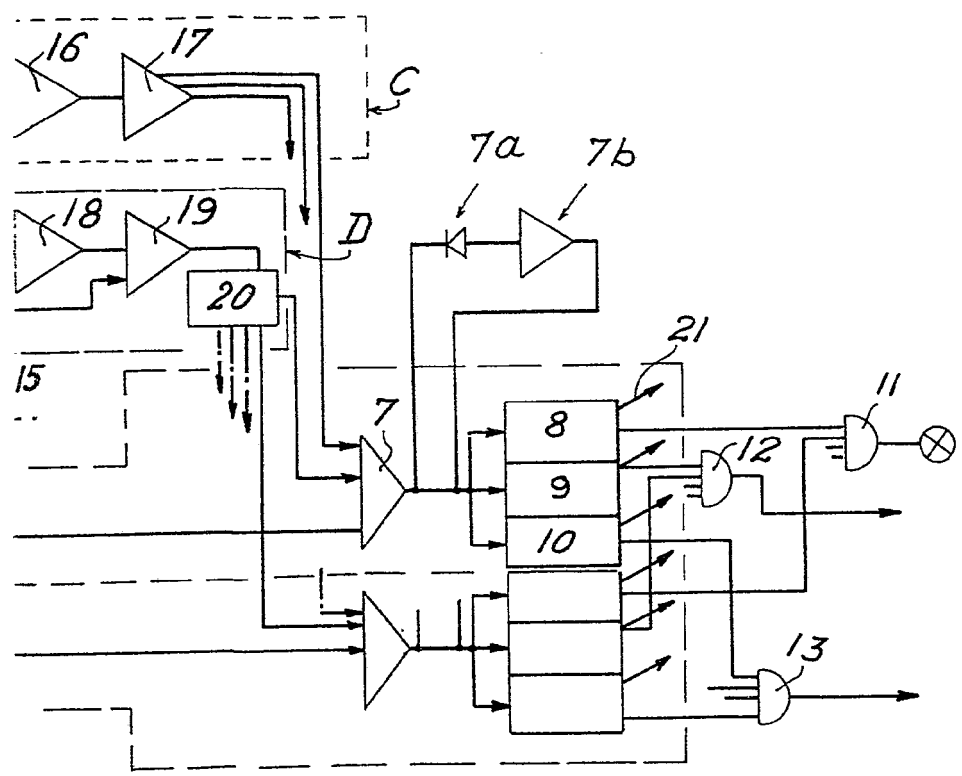


VAR. 10.00LE

*Handwritten signature*







VARIABLE

*[Handwritten signature]*