

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 719 553**

51 Int. Cl.:

H03G 3/30 (2006.01)

H03F 1/30 (2006.01)

H03F 3/189 (2006.01)

H03F 3/24 (2006.01)

H03K 5/01 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.07.2015 E 15176932 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.01.2019 EP 2978127**

54 Título: **Procedimiento de compensación digital de las variaciones, en función de la temperatura, de una magnitud eléctrica de un equipo de telecomunicaciones de radiofrecuencia espacial, integrado**

30 Prioridad:

18.07.2014 FR 1401615

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

11.07.2019

73 Titular/es:

**THALES (50.0%)
Tour Carpe Diem, Place des Corolles, Esplanade
Nord
92400 Courbevoie, FR y
CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES
(50.0%)**

72 Inventor/es:

**MAYNARD, JEAN;
RODRIGUEZ, RAOUL;
MOUCHON, GRÉGOR Y
CHABBERT, PHILIPPE**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 719 553 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de compensación digital de las variaciones, en función de la temperatura, de una magnitud eléctrica de un equipo de telecomunicaciones de radiofrecuencia espacial, integrado

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de compensación digital de las variaciones, en función de la temperatura, de una magnitud eléctrica de un equipo de telecomunicaciones de radiofrecuencia espacial, integrado. Se aplica a cualquier equipo de telecomunicaciones que utilice un control digital y del que una magnitud eléctrica varíe en función de la temperatura. La magnitud eléctrica que varía puede ser de cualquier tipo, por ejemplo, una ganancia o una tensión o una fase o una potencia o una frecuencia o de otro tipo. El control digital puede ser de cualquier tipo, por ejemplo, una tensión de control de ganancia fija o un control de fase o de potencia o de frecuencia
10 del campo de las aplicaciones espaciales, en los equipos electrónicos de telecomunicaciones de radiofrecuencia que utilizan controles digitales, tales como los equipos integrados en cadenas de radiofrecuencia a bordo de satélites de telecomunicaciones, como, por ejemplo, los amplificadores de poco ruido, los preamplificadores, los amplificadores de potencia de estado sólido, los atenuadores de ganancia o los convertidores de frecuencia, los convertidores de fase.
15

Para una buena comprensión de la invención, el resto de la descripción se refiere al ejemplo preciso de un equipo cuya magnitud eléctrica, que varía en función de la temperatura, es la ganancia o la fase del equipo y donde el control digital es una tensión de control, pero debe entenderse que la invención no está limitada a esta magnitud eléctrica ni a este tipo de control.

20 Como se ha representado en el ejemplo de la figura 1, la compensación de las variaciones de una magnitud eléctrica de un equipo de radiofrecuencia 10 en función de la temperatura, por ejemplo, las variaciones de la ganancia o de la fase de una cadena de radiofrecuencia que incluya, conectados en serie, unos amplificadores 11 y unos atenuadores 12 que pueden controlarse, por ejemplo, en tensión, normalmente se realiza a partir de un solo control Vc analógico aplicado en la entrada del equipo. Para ello, a partir de una consigna, por ejemplo, de ganancia,
25 impuesta por un usuario, un dispositivo de control 16 elabora un control analógico 17 que se aplica al equipo 10 por medio de un circuito electrónico a base de resistencias y de termistores 18, garantizando los termistores la compensación de temperatura del equipo. La compensación de las variaciones, por ejemplo, de la ganancia, de un equipo por control analógico necesita, por tanto, que se añadan cableados, resistencias y termistores directamente en el equipo 10, lo que aumenta la masa, el volumen y el coste del equipo. Además, el valor de estos componentes debe optimizarse con un ajuste fino y precisa la utilización de procedimientos pesados que implican ciclos de temperatura para determinar los valores de los componentes, verificar los rendimientos y reiterar estos ciclos de temperatura y estas verificaciones hasta que el objetivo sobre los rendimientos deseados, tales como, por ejemplo, la estabilidad de ganancia en temperatura se haya alcanzado.
30

35 Como se describe, por ejemplo, en los documentos WO 2012/114836, US 2005/221764, US 6553084, la compensación de las variaciones de la ganancia o de la fase o de cualquier otro parámetro o magnitud eléctrica, de un equipo de radiofrecuencia 10 también puede realizarse a partir de un control digital, lo que permite mejorar la competitividad del equipo gracias a reducciones de coste y de masa que son el resultado del mismo y de disminuir el tiempo de ajuste del equipo. No obstante, al contrario que en un control analógico que corresponde a la aplicación de un valor, por ejemplo, de tensión, continua en la entrada del equipo y a una variación continua de la magnitud eléctrica del equipo, por ejemplo, de la ganancia o de la fase del equipo, un control digital está constituido por una sucesión de estados digitales discontinuos, denominados palabras de control digital, registradas en unas tablas de correspondencia en diferentes direcciones de una memoria. Cada palabra de control digital registrada corresponde a un valor de control digital a aplicar en el equipo para un valor de consigna de ganancia impuesto por el usuario y para un valor de temperatura medida en el equipo. No obstante, en cada en cada cambio de estado, estos estados discontinuos inducen, en la curva de variación de la magnitud eléctrica, por ejemplo, de la ganancia, del equipo, unas fluctuaciones parásitas transitorias en amplitud y también en fase, así como otros eventuales efectos secundarios en función de la naturaleza de las magnitudes físicas controladas, que pueden ser muy rápida y que, si no se dominan, pueden alterar el caudal y la calidad del tráfico de las telecomunicaciones e inducir el riesgo de que los receptores de telecomunicaciones en la cadena de comunicación que incluye el equipo se descuelguen. Para resolver estos problemas, lo clásico es aumentar el número de estados registrados en la memoria y el espacio de memoria asociado. No obstante, esta solución está limitada por la capacidad de la memoria disponible, precisa la utilización de convertidores analógicos/digitales que funcionan con un número de bits digitales que será tanto o más elevado según aumenta el número de estados, lo que no permite responder a la ausencia de interrupción de tráfico en caso de cambio del valor de la magnitud eléctrica, por ejemplo, de la ganancia o de la fase, por control remoto.
40
45
50
55

El objetivo de la invención consiste en remediar los inconvenientes de los procedimientos de control conocidos y en realizar un procedimiento de compensación digital de las variaciones, en función de la temperatura, de una magnitud eléctrica de un equipo de telecomunicaciones de radiofrecuencia espacial, integrado, que no precise aumentar la capacidad de la memoria, permita limitar el impacto de las fluctuaciones parásitas transitorias, que no afecte a los rendimientos de transmisión de datos, tales como el caudal o la calidad del tráfico, y que no induzca un riesgo de que los receptores de telecomunicaciones se descuelguen incluso en caso de modificación del valor de consigna de
60

la magnitud eléctrica.

Para ello, la invención se refiere a un procedimiento de compensación digital de las variaciones, en función de la temperatura, de una magnitud eléctrica de un equipo de telecomunicaciones de radiofrecuencia espacial, integrado, incluyendo el equipo N dispositivos elementales, donde N es superior o igual a uno, debiendo mantenerse la magnitud eléctrica del equipo en un valor de consigna predeterminado, consistiendo el procedimiento:

- 5
- en medir la temperatura del equipo en diferentes instantes de medición,
 - para cada instante de medición, en consultar unas tablas de correspondencia en las que están registradas unas palabras de control digital a aplicar en el equipo para compensar las variaciones correspondientes de la magnitud eléctrica en función del valor de consigna predeterminado y de diferentes estados digitales de temperatura
- 10
- registrados correspondientes a diferentes valores de temperatura medidos,
 - cuando la temperatura medida está situada entre dos estados digitales de temperatura registrados en las tablas de correspondencia, en crear, unos estados digitales de temperatura intermedios situados entre los dos estados digitales de temperatura registrados y en calcular, por interpolación, unas palabras de control digital correspondientes a los estados de temperatura digital intermedios creados,
- 15
- en seleccionar una palabra de control digital correspondiente a la temperatura medida, y luego, en suministrar, en el equipo, el control analógico correspondiente a la palabra de control digital seleccionada.

El procedimiento consiste además, entre dos palabras de control digital registradas, en crear, por interpolación, unas palabras de control digital intermedias codificadas en un número de bits superior al número de bits de las palabras de control digital registradas.

- 20
- Ventajosamente, según un modo de realización, cuando N es superior a uno, para cada cambio de estado digital de temperatura, se suministra el control analógico correspondiente a la palabra de control digital seleccionada a uno solo de los N dispositivos elementales del equipo, seleccionándose los N dispositivos elementales secuencialmente, por turnos, en cada cambio de estado digital de temperatura.

- 25
- Como alternativa, según otro modo de realización, para cada cambio de estado digital de temperatura, se distribuye el control analógico correspondiente a la palabra de control digital seleccionada en N controles analógicos elementales respectivamente suministrados a los N dispositivos elementales del equipo, estando los N controles analógicos elementales desplazados temporalmente los unos con respecto a los otros.

Ventajosamente, el procedimiento puede consistir, además, en aplicar un filtrado temporal lineal en la tensión de control analógico.

- 30
- Otras particularidades y ventajas de la invención se apreciarán claramente a continuación, en la descripción aportada a modo de ejemplo meramente ilustrativo y no limitativo, con referencia a los dibujos esquemáticos adjuntos, que representan:

- figura 1: un esquema sinóptico de un ejemplo de dispositivo de compensación analógico de las variaciones de una magnitud eléctrica, por ejemplo, de la ganancia, de un equipo de telecomunicaciones de radiofrecuencia en función de la temperatura, según la técnica anterior;
- figura 2: un esquema sinóptico de un ejemplo de dispositivo de compensación digital de las variaciones de una magnitud eléctrica, por ejemplo, de la ganancia de un equipo de telecomunicaciones de radiofrecuencia en función de la temperatura, según la técnica anterior;
- figura 3a: un esquema de un ejemplo de curva de variación natural de una magnitud eléctrica de un equipo en función de la temperatura, en ausencia de cualquier compensación, según la técnica anterior;
- figura 3b: un esquema de un ejemplo de tabla de correspondencia, para una consigna de ganancia dada, registrada en una memoria, según la técnica anterior;
- figura 3c: un ejemplo de curva de variación de la ganancia de un equipo compensada digitalmente en temperatura, según la técnica anterior;
- figura 3d: un ejemplo de curva de variación de la tensión de control del equipo de la figura 2, según la técnica anterior;
- figura 4a: un sinóptico que ilustra las principales etapas de un modo de realización del procedimiento de compensación, según la invención;
- figura 4b: una tabla que ilustra un ejemplo de compensación digital de las variaciones de una magnitud eléctrica que consiste, a partir de las tablas de correspondencia, en crear unos estados de temperatura intermedios con el fin de reducir la amplitud y la fase de las fluctuaciones de una magnitud eléctrica de un equipo, según un modo de realización de la invención;
- figura 4c: un ejemplo de curva de variación de la ganancia de un equipo compensada digitalmente en temperatura, según el ejemplo de compensación de la figura 4b;
- figura 4d: un ejemplo de curva que ilustra unas tensiones de control analógico para los diferentes estados digitalizados de temperatura de la figura 4b.
- figura 5a: un esquema que ilustra un primer ejemplo de realización de un dispositivo de compensación digital de las variaciones de una magnitud eléctrica, que permite reducir la amplitud y la fase de las fluctuaciones de la

- magnitud eléctrica en cada cambio de estado digital,, según un modo de realización de la invención;
- figura 5b: un esquema que ilustra un primer ejemplo de aplicación de los controles digitales en el equipo, según el modo de realización de la figura 5a;
- figura 5c: un esquema que ilustra un segundo ejemplo de aplicación de los controles digitales en el equipo, según el modo de realización de la figura 5a;
- figura 6a: una tabla que ilustra otro ejemplo de compensación digital de las variaciones de una magnitud eléctrica que consiste, a partir de las tablas de correspondencia, en crear unas palabras de control intermedias con el fin de reducir la amplitud y la fase de las fluctuaciones de una magnitud eléctrica de un equipo, según otro modo de realización de la invención;
- figura 6b: un ejemplo de curva de variación de la ganancia de un equipo compensada digitalmente en temperatura, según el ejemplo de compensación de la figura 6a;
- figura 6c: un ejemplo de curva que ilustra unas tensiones de control analógico para los diferentes estados digitalizados de temperatura de la figura 6a
- figura 7a: un esquema sinóptico de un ejemplo de dispositivo de compensación digital de las variaciones de la ganancia de un equipo de telecomunicaciones de radiofrecuencia en función de la temperatura que incluye un dispositivo de filtrado, según otro modo de realización de la invención;
- figura 7b: un ejemplo de curva de evolución de una tensión de control después del filtrado durante un cambio de estado digital de control, según el modo de realización de la figura 7a.

El dispositivo de compensación digital de las variaciones de una magnitud eléctrica, por ejemplo, de la ganancia o de la fase, de un equipo de telecomunicaciones de radiofrecuencia en función de la temperatura, representada en la figura 2, incluye un equipo 10 del que una magnitud eléctrica varía en función de la temperatura, un dispositivo de medición digital 21 de la temperatura del equipo, un dispositivo de control digital 20 del equipo conectado a una memoria programable 22 y un convertidor digital/analógico DAC 23 adecuado para convertir el control digital suministrado por el dispositivo de control digital 20 en un control analógico V_c aplicado en el equipo 10. En este ejemplo, la magnitud eléctrica variable en temperatura es la ganancia del equipo y el control es una tensión, pero la invención no está limitada a estas magnitudes físicas. La memoria programable 22 puede, por ejemplo, seleccionarse de entre las memorias de tipo PROM (en inglés: "Programmable Read Only Memory", memoria programable de solo lectura) o EPROM (en inglés: "Erasable Read Only Memory", memoria de solo lectura, programable y borrable) o EEPROM (en inglés: "Electrically Erasable Read Only Memory", memoria de solo lectura programable y borrable eléctricamente) o puede ser una memoria asociada o incorporada en un ASIC (en inglés: "Application Specific Integrated Circuit", circuito integrado de aplicación específica), un microcontrolador o un circuito lógico programable o una red lógica programable, por ejemplo, una FPGA (en inglés: "field-programable gate array", matriz de puertas programable por campos). El equipo de telecomunicaciones 10 puede incluir uno o varios dispositivos elementales 11, 12 dispuestos en serie y cada dispositivo elemental 11, 12 puede incluir una magnitud eléctrica, por ejemplo, una ganancia, que varía con la temperatura. El dispositivo de control digital 20 incluye una entrada destinada a recibir un valor de consigna impuesto por un usuario y una entrada conectada al dispositivo de medición 21 de temperatura. El valor de consigna depende de la magnitud eléctrica que varía en temperatura y puede ser, por ejemplo, un valor de consigna de ganancia, si la magnitud eléctrica que varía en temperatura es la ganancia. La memoria 22 contiene unas tablas de correspondencia que proporcionan, para un valor de consigna impuesto por un usuario, unas palabras de control digital correspondientes a diferentes valores de temperatura. Las palabras de control digital están ordenadas en diferentes direcciones de la memoria 22, dependiendo cada dirección de la temperatura y del valor de consigna. Con la recepción de cada medición de temperatura transmitida por el dispositivo de medición 21, el dispositivo de control digital 20 consulta una dirección 24 de la memoria 22 correspondiente a la temperatura medida y al valor de consigna y la memoria 22 le comunica en respuesta la palabra de control digital 25 registrada en esa dirección. Tras la recepción de la palabra de control digital, el dispositivo de control digital 20 la transmite al convertidor digital/analógico 23 que convierte la palabra de control digital en un control analógico 27, por ejemplo, una tensión de control V_c , que se aplica en una entrada de control del equipo 10. Si el equipo 10 incluye varios dispositivos elementales 12 idénticos en los que una magnitud eléctrica, por ejemplo, la ganancia, debe ajustarse en función de la temperatura, por ejemplo, varios atenuadores y/o varios amplificadores conectados en serie, el control analógico 27 aplicado en la entrada de control del equipo 10 se aplica, a continuación, simultáneamente en paralelo en la entrada de control respectiva de cada uno de estos dispositivos elementales cuya magnitud eléctrica debe ajustarse.

A modo de ejemplo no limitativo, en la figura 3a se ha ilustrado un ejemplo de curva 30 de variación natural de una magnitud eléctrica, por ejemplo, la ganancia, de un equipo en función de la temperatura, no estando las variaciones compensadas. Para compensar las variaciones de la magnitud eléctrica en función de la temperatura, el usuario selecciona un valor de consigna deseado. Se realizan unas mediciones de temperatura regularmente en el equipo y estas se transmiten al dispositivo de control digital 20 que busca en la memoria 22, la tabla de correspondencia que corresponde al valor de consigna elegido. En la figura 3b se ha representado un ejemplo de tabla de correspondencia que puede registrarse en la memoria 22 para un valor de consigna dado. En este ejemplo, el valor de consigna es un valor de ganancia G , los valores de temperatura registrados en la tabla de correspondencia están indicados en grados centígrados en la primera columna, los estados digitalizados de temperatura codificados en binario en i bits, donde i es igual a tres en este ejemplo, están indicados en la segunda columna, las palabras de control digital memorizadas que corresponden a los diferentes valores de temperatura están indicados en valores decimales en la tercera columna. En la cuarta columna están registrados los valores en voltios, unas tensiones de

salida del convertidor digital/analógico DAC 23 correspondientes a las diferentes palabras de control memorizadas. La memoria 22 puede incluir un gran número de tablas de correspondencia diferentes dedicadas, respectivamente, a unos valores de consigna de ganancia diferentes. Las diferentes tablas de correspondencia incluyen diferentes estados digitales registrados, asociando cada estado digital, para un valor de consigna de ganancia G impuesto por un usuario y para un valor de temperatura del equipo, una palabra de control digital correspondiente a una tensión de control analógico a aplicar en el equipo para compensar el efecto de la temperatura sobre la variación global de la ganancia del equipo. La precisión de la compensación de temperatura depende del número de estados diferentes digitalizados y registrados en la memoria. Cuando la temperatura medida está comprendida entre dos estados consecutivos digitalizados y registrados en la memoria, no estando el estado correspondiente a la temperatura medida registrado en la tabla de correspondencia, la palabra de control seleccionada corresponde, según la selección, al estado de temperatura registrado inmediatamente inferior o inmediatamente superior a esta temperatura medida. Para una consigna de ganancia dada, la compensación de la ganancia en temperatura es entonces incompleta y la ganancia varía en función de la temperatura según una curva 31 con forma de dientes de sierra representada, por ejemplo, en la figura 3c, donde las diferentes temperaturas sucesivas están representadas en las abscisas y la ganancia en las ordenadas. Por ejemplo, para una variación de temperatura comprendida entre -10° y $+60^{\circ}$, una consigna de ganancia de G igual a 10 dB y una tabla de correspondencia que incluye 8 estados de temperatura registrados diferentes, correspondiendo los 8 estados diferentes a unas temperaturas espaciadas cada 10° , la palabra de control 000 puede corresponder a la temperatura -10° , la palabra de control 001 a la temperatura 0° , la palabra de control 010 a la temperatura $+10^{\circ}$ la palabra de control 111 a la temperatura $+60^{\circ}$. Entre dos estados consecutivos registrados en la tabla de correspondencia, por ejemplo, entre 0° y $+10^{\circ}$, el control de compensación de la ganancia permanece constante e igual al correspondiente a 0° . Entre dos estados consecutivos registrados, entonces, la ganancia no está completamente compensada, pero sigue una curva 30 de variación natural, creciente, en este ejemplo, cuando la temperatura aumenta. La curva 31 corresponde a un control digital constante entre dos estados consecutivos registrados en la tabla de correspondencia. Cada vez que la temperatura alcanza un valor correspondiente a un estado registrado en la tabla de correspondencia, por ejemplo, 001 o 010 o 100, la compensación de temperatura puede realizarse de manera exacta gracias a la palabra digital de control registrada en la tabla de correspondencia en esta dirección y de conformidad con la consigna de ganancia. De ese modo, cada vez que la temperatura corresponde a un estado registrado, la ganancia adopta el valor correspondiente a la consigna de ganancia, por ejemplo, 10 dB (decibelios). Cada cambio de estado digital de temperatura registrado, denominado transición, corresponde, por tanto, a una variación de amplitud brutal de la ganancia del equipo correspondiente a la amplitud de una señal transitoria. Por ejemplo, en la figura 3c, la transición del estado digital de temperatura registrado 000 en el estado 001, corresponde a una variación de amplitud de valor A. La figura 3d ilustra un ejemplo de curva de variación de la tensión de control del equipo suministrada por el DAC 23 de la figura 2.

En el campo de las telecomunicaciones, es particularmente importante reducir la amplitud de la variación de la ganancia o de la fase del equipo de telecomunicaciones de radiofrecuencia espacial integrado para cada cambio de estado digital con el fin de limitar la aparición de las fluctuaciones rápidas transitorias que generan unas variaciones brutales de la ganancia y de la fase de las señales de telecomunicaciones, que perturban el tráfico de los datos y que pueden hacer que los demuladores digitales de las cadenas de transmisión de datos se descuelguen.

El resto de la descripción se refiere al caso en el que el equipo de telecomunicaciones 10, integrado en una cadena de transmisión de datos, incluye N dispositivos elementales 12a, 12b,..., 12c de los cuales una magnitud eléctrica, por ejemplo, la ganancia o la fase, puede controlarse en función de la temperatura para compensar las variaciones de los rendimientos del conjunto de la cadena de transmisión de datos. Los N dispositivos elementales 12a, 12b,..., 12c pueden estar conectados en serie o en paralelo. Como se ha ilustrado en el sinóptico de la figura 4a, para reducir la amplitud de variación de la magnitud eléctrica, por ejemplo, la ganancia o la fase, del equipo de telecomunicaciones 10, para cada cambio de estado digital de temperatura, sin aumentar el número de bits utilizado para la codificación de las palabras de control en binario, la invención consiste, entre los diferentes estados digitales de temperatura registrados en las tablas de correspondencia de la memoria 22, en crear 41, en el dispositivo de control digital 20, unos estados digitales de temperatura intermedios adicionales correspondientes a unas temperaturas medidas que tienen unos valores comprendidos en el campo de variación de las temperaturas memorizadas, y, en caso necesario, unos estados digitales de temperatura intermedios adicionales correspondientes a unas temperaturas medidas 21 que tienen unos valores situados más allá del campo de variación de las temperaturas memorizadas, luego, en calcular 42, por interpolación o, respectivamente, por extrapolación, las palabras de control digitales adicionales 43 correspondientes a los estados digitales de temperatura intermedios creados. Cada palabra de control digital adicional se calcula, por interpolación o por extrapolación, a partir de al menos dos estados digitales registrados en una tabla de correspondencia 40 de la memoria 22, pudiendo los dos estados digitales registrados ser consecutivos, es decir, corresponder a dos valores de temperatura inmediatamente superior e inmediatamente inferior a la temperatura medida o no consecutivos. Puede utilizarse cualquier tipo de interpolación o de extrapolación, por ejemplo, lineal o de un tipo más complejo. De ese modo, a partir del ejemplo de tabla de correspondencia de la figura 3b, en la que el número de bits de codificación binaria i para cada estado digital de temperatura es igual a tres, es posible crear unos estados de temperatura digitales adicionales utilizando, para cada estado digital de temperatura, un número de bits de codificación binaria j superior a i, por lo tanto, superior a tres en este ejemplo. Por ejemplo, si el valor de j se selecciona igual a cinco, como se ha representado en la figura 4b, los estados de temperatura digitalizados en tres bits y registrados en la memoria 22 se modifican en estados de

temperatura digitalizados en cinco bits, lo que permite añadir, entre dos estados, k y $k+1$, de temperatura T_k y T_{k+1} consecutivos, tres estados digitales de temperatura intermedios calculados y, por tanto, multiplicar por cuatro el número de estados disponibles con respecto al número de estados de temperatura memorizados en la memoria 22. En particular, en el ejemplo de la figura 4b, para una temperatura medida comprendida entre $T_k = -10^\circ$ y $T_{k+1} = 0^\circ$ y correspondiente, respectivamente, a los dos estados digitales memorizados de temperatura 00000 y 00100, el dispositivo de control digital 20 calcula por interpolación/extrapolación unas palabras de control intermedias adicionales que se aplican para unos estados de temperatura intermedios T_{int} correspondientes a los estados digitales 00001, 00010, 00011. En este ejemplo, una interpolación permite calcular palabras de control intermedias $Mc(T_{int})$ para todos los estados de temperatura intermedios T_{int} comprendidos entre dos estados de temperatura consecutivos T_k y T_{k+1} registrados en la memoria 22. Por ejemplo, en el caso en el que la interpolación sea de tipo lineal, la palabra de control intermedia $Mc(T_{int})$ calculada, en valor decimal, correspondiente al estado de temperatura intermedio T_{int} , digitalizado en un valor decimal, puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$Mc(T_{int}) = Mc(T_k) + [Mc(T_{k+1}) - Mc(T_k)] * [(T_{int} - T_k) / (T_{k+1} - T_k)]$$

De ese modo, por ejemplo, cuando T_{int} es el estado de temperatura intermedio correspondiente a la palabra digital 00001, la palabra de control calculada corresponde a $Mc(00001) = 7 + [5 - 7] * [1 - 0] / [4 - 0] = 6,5$.

La palabra de control digital debe ser un número entero, según la invención, solo la parte entera de la palabra de control calculada, igual a 6 en este ejemplo, queda retenida como palabra de control digital interpolada para la temperatura digital intermedia correspondiente al valor binario 00001.

La figura 4c ilustra un ejemplo de curva de variación de la ganancia de un equipo de telecomunicaciones obtenida tras una compensación digital en temperatura, de conformidad con este modo de realización. Las tensiones de control analógico V_c que se obtienen como resultado en la salida del DAC 23 está representadas en la figura 4d para los diferentes estados digitalizados de temperatura.

Añadiendo, por interpolación lineal, varios estados de temperatura intermedios entre los diferentes estados de temperatura memorizados, de este modo es posible compensar de manera más fina cualquier magnitud eléctrica, del equipo, por ejemplo, la ganancia o la fase, en función de la temperatura y reducir considerablemente la amplitud de variación de esta magnitud eléctrica del equipo, para cada cambio de estado digital, sin aumentar el espacio de memoria, como muestra, por ejemplo, la curva típica de variación de ganancia en función de la temperatura representada en la figura 4c. En efecto, la curva de ganancia representada en la figura 4c, muestra que los transitorios y las variaciones A de ganancia son menores en este modo de realización de la invención que en la curva de ganancia representada en la figura 3c correspondiente a la técnica anterior, cuando el espacio de memoria utilizado en estas dos realizaciones es el mismo.

Junto con la creación de estados de temperatura digital intermedios, la invención puede incluir una etapa adicional que consiste en descomponer las eventuales fluctuaciones transitorias de la ganancia o de la fase del equipo en varias señales transitorias elementales de menor amplitud y distribuidas a lo largo del tiempo. Para ello, como se ha representado en la figura 5a en el caso en el que N es igual a tres, en lugar de aplicar un control analógico global 27 en la entrada del equipo 10 para ajustar globalmente la ganancia o la fase del equipo, la invención consiste en escindir el control de compensación global de la ganancia o de la fase del equipo en N controles analógicos elementales $V_{ca}, V_{cb}, \dots, V_{cn}$ diferentes, independientes los unos de los otros, de menor amplitud y distribuidos a lo largo del tiempo, estando los N controles analógicos elementales aplicados respectivamente en la entrada de los N dispositivos elementales 12a, 12b, 12c correspondientes del equipo. Los N controles analógicos elementales están suministrados por N convertidores digitales analógicos diferentes 23a, 23b, 23c, respectivamente, conectados a N salidas diferentes del dispositivo de control digital 20 y están elaborados a partir de N controles digitales elementales provistos por el dispositivo de control digital 20.

Los N controles elementales pueden elaborarse mediante diferentes procedimientos.

En un primer procedimiento ilustrado en la figura 5b, para cada cambio de estado digital de temperatura, el control analógico correspondiente a la palabra de control digital seleccionada se distribuye en N controles analógicos elementales, respectivamente, suministrados a los N dispositivos elementales, estando los N controles analógicos elementales desplazados temporalmente los unos con respecto a los otros. Para ello, el dispositivo de control digital 20 consulta la memoria 22 para obtener la palabra de control digital correspondiente aproximadamente a una consigna de ganancia que tiene un valor reducido de un factor N con respecto a la consigna de ganancia global fijada por el usuario. La palabra de control digital así obtenida es procesada por el dispositivo de control digital que suministra entonces, N controles digitales 26a, 26b, ..., 26c en sus N salidas. No obstante, según la invención, los N controles digitales elementales no son suministrados simultáneamente por el dispositivo de control digital, sino secuencialmente. Para ello, los N controles digitales se retrasan los unos con respecto a los otros según una secuencia predefinida, para distribuir a lo largo del tiempo, las eventuales fluctuaciones transitorias debidas a cada compensación de la ganancia de un dispositivo elemental. Los N convertidores digitales analógicos DAC 23a, 23b, 23c, convierten a continuación, los N controles digitales suministrados en las N salidas del dispositivo de control digital en N tensiones de control analógicas elementales, respectivamente, dedicadas al control de la ganancia o de la fase de los N dispositivos elementales del equipo, teniendo cada tensión de control analógico una sensibilidad

reducida por un factor aproximadamente igual a 1/N con respecto a la tensión analógica global a aplicar en el equipo. En el ejemplo de las figuras 5a y 5b, N es igual a 3 y la palabra de control digital procedente de la memoria 22 corresponde a una consigna de ganancia, denotada G/3, asociada a cada dispositivo elemental. Los tres controles digitales elementales 26a, 26b, 26c, correspondientes a las tres consignas de ganancia asociadas a cada dispositivo elemental, se suministran en las tres salidas del dispositivo de control 20 en instantes diferentes. El primer control digital elemental se transmite al primer convertidor digital analógico 23a en el instante t₁, luego, después de un primer retardo T₁, el segundo control digital elemental se transmite al segundo convertidor digital analógico 23b en el instante t₂, por último, después de un segundo retardo T₂, el tercer control digital elemental se transmite al tercer convertidor digital analógico 23c en el instante t₃.

En un segundo procedimiento ilustrado en la figura 5c, para cada cambio de estado digital de temperatura, también denominado transición de temperatura, el dispositivo de control digital 20 no elabora más que un solo control digital que se aplica en un solo convertidor digital analógico DAC para controlar un solo dispositivo elemental del equipo en cada cambio de estado de temperatura, el convertidor digital analógico DAC y el dispositivo elemental correspondiente controlados en cada nueva transición de temperatura, se seleccionan sucesiva y cíclicamente, los unos después de los otros. De ese modo, en cada transición de temperatura, los controles digitales 26a, 26b, 26c aplicados en la entrada de cada convertidor digital analógico DAC1 23a, DAC2 23b y DAC3 23c pueden ser diferentes los unos de los otros. Por ejemplo, cuando la palabra de temperatura pasa del valor 000 a 001, solo el primer DAC ve un control digital modificado en su entrada y la palabra de control dedicada al DAC1 23a puede modificarse para compensar las correspondientes variaciones de temperatura. Cuando la palabra de temperatura pasa del valor 001 a 010, solo el segundo DAC ve un control digital modificado en su entrada y la palabra de control dedicada al DAC2 23a puede modificarse para compensar las variaciones de temperatura. Cuando la palabra de temperatura pasa del valor 010 a 011, solo el tercer DAC ve un control digital modificado en su entrada y la palabra de control dedicada al DAC 23c puede modificarse para compensar las variaciones de temperatura. Luego, de nuevo, solo el DAC 23a ve un control digital modificado en su entrada entre 011 y 100 y así sucesivamente, lo que permite limitar la transición vista por el usuario en la cadena de radiofrecuencia completa. El orden de aplicación de los controles digitales no está limitado al ejemplo descrito anteriormente y puede modificarse en función de las necesidades. Siempre según el mismo principio de no tener más que un solo dispositivo elemental actualizado para cada transición digital de temperatura, se pueden contemplar otras soluciones, concretamente, utilizar de manera diferente los N dispositivos elementales. Todos o parte de estos dispositivos elementales pueden utilizarse para realizar la compensación de temperatura, todos o parte de estos dispositivos elementales pueden utilizarse para aplicar la consigna impuesta por el usuario, pudiéndose utilizar un mismo dispositivo elemental únicamente para la compensación de temperatura o, al contrario, únicamente para la consigna impuesta por el usuario o, a la vez, para la compensación de temperatura y la consigna del usuario.

Para reducir la amplitud de variación de la ganancia de un equipo en cada cambio de estado digital sin aumentar el espacio de memoria necesario, junto con la creación de estados digitales de temperatura intermedios, la invención puede consistir, además, en prever un número de estados de control digital 26 en la entrada del DAC 23, mayor que el número de estados de control memorizados en la memoria 22. En ese caso, el dispositivo de control 20 debe crear, asimismo, mediante un cálculo unas palabras de control intermedias Mcint(T_p), correspondientes a los estados de control intermedios a añadir entre dos estados de control digitales consecutivos correspondientes a las palabras de control Mc(T_{p-1}) y Mc(T_{p+1}) memorizadas y registradas en las tablas de la memoria 22, estando las palabras de control Mc(T_{p-1}) y Mc(T_{p+1}) asociadas respectivamente a dos valores de temperatura registrados, inmediatamente inferior T_{p-1} e inmediatamente superior T_{p+1}, a la temperatura intermedia medida T_{pint}. Para ello, el dispositivo de control 20 calcula cada palabra de control intermedia, por interpolación o por extrapolación, a partir de las palabras de control Mc(T_{p-1}) y Mc(T_{p+1}) memorizadas. Puede utilizarse cualquier tipo de interpolación o extrapolación, tal como, por ejemplo una interpolación lineal o una interpolación de tipo no lineal más compleja.

Por ejemplo, según este modo de realización, las palabras de control memorizadas pueden estar codificadas en n bits y las palabras de control calculadas y aplicadas en la entrada del DAC 23 pueden estar codificadas en m bits, siendo m>n. Por ejemplo, las palabras de temperatura memorizadas pueden estar codificadas en i bits y las palabras de temperatura calculadas en el dispositivo de control 20 pueden estar codificadas en j bits, siendo j>i.

Mcint(T_{pint}) es la palabra de control intermedia de m bits calculada por interpolación/extrapolación para la palabra de temperatura intermedia medida T_{pint} codificada en j bits.

La interpolación/extrapolación consiste entonces en calcular Mcint(T_p) en función de las variables conocidas Mc(T_{p-1}), Mc(T_{p+1}) T_{pint}, T_{p-1}, T_{p+1}. Un método de cálculo posible puede consistir, por ejemplo, en utilizar una interpolación lineal, pero también se pueden utilizar otros tipos de interpolación. En el caso de la utilización de una interpolación lineal, Mcint(T_{pint}) puede calcularse como sigue:

$$Mcint(T_{pint}) = 2^{m-n} \times [Mc(T_{p-1}) - (((Mc(T_{p+1}) - MC(T_{p-1})) \times (T_{pint} - T_{p-1}) / (T_{p+1} - T_{p-1})))]$$

Las figuras 6a, 6b, 6c, ilustran un ejemplo conforme a este tercer modo de realización de la invención, en el que i=3 y j=i+2=5 y n=3 y m=n+2=5. Aplicando la fórmula de cálculo indicada anteriormente en el ejemplo de la figura 3b, se

obtiene la tabla de la figura 6a. Por ejemplo:

$$Mcint(00001) = 2^2 \times [7 + ((5-7) \times (1 - 0)/(4 - 0))] = 26$$

$$Mcint(01111) = 2^2 \times [3 + ((2-3) \times (15 - 12)/(16 - 12))] = 9$$

5 Añadiendo, por interpolación lineal, varios estados intermedios entre los diferentes estados de temperatura memorizados y también entre los diferentes estados de control memorizados, lo que consiste en interpolar en un número de bits de control superior al número de bit de control memorizado, es así posible compensar con más fineza la ganancia del equipo en función de la temperatura y reducir la amplitud de variación de la ganancia del equipo en cada cambio de estado digital de temperatura, como muestra el ejemplo de la figura 6b. La figura 6c representa una curva típica de variación de tensión de control correspondiente, en función de la temperatura. La comparación de las figuras 6b, 4c y 3c muestra la ventaja aportada por este tercer modo de realización de la invención que permite obtener variaciones de ganancia más débiles y, por tanto, disminuir las amplitudes A de las señales transitorias sin haber aumentado por ello el espacio de la memoria 22.

15 Por último, la invención puede incluir una etapa que consiste en, a la salida del convertidor digital/analógico 23, introducir un dispositivo de filtrado temporal lineal analógico 70 que tiene una constante de tiempo τ , que filtra en una relación $1/\tau$, la tensión de control V_c suministrada por el convertidor digital/analógico, como se ha representado en los ejemplos de las figuras 7a y 7b. El dispositivo de filtrado 70 de tipo paso bajo, permite en cada cambio de estado, alisar la variación de la tensión de control analógico V_c que resulta del mismo y limitar y ralentizar las fluctuaciones de amplitud y de fase parásitas al nivel de la ganancia del equipo para que sean despreciables en el tiempo que dura un bit de datos de las señales de telecomunicaciones. El valor de la constante de tiempo τ del filtrado es el resultado de un compromiso. La constante de tiempo τ , en efecto, está optimizada para ser, por una parte, lo bastante larga como para asegurar la inocuidad de las fluctuaciones transitorias parásitas, con respecto a las señales de telecomunicaciones y evitar cualquier riesgo de interrupción de tráfico en caso de compensación digital de ganancia y asimismo en caso de cambio de ganancia por control remoto y, por otra parte, lo bastante corta como para poder implementarse fácilmente y no impedir la utilización del equipo durante unas pruebas o su funcionamiento operativo.

25 La constante de tiempo τ depende del tipo de modulación utilizada para la transmisión de datos de comunicación, pero se determina de manera que la fase de las fluctuaciones parásitas gire a un ángulo despreciable durante el tiempo que dura un bit o un símbolo. De manera óptima, el filtrado puede estar dimensionado para tener una variación de fase despreciable cuando el caudal de las telecomunicaciones es muy lento, por ejemplo, inferior o igual a 64 Kbits/segundo, lo que corresponde, por ejemplo, al caso de una modulación robusta de tipo QPSK o BPSK muy poco sensible a las variaciones de fase. El filtrado también puede dimensionarse para casos de modulación más eficaces de tipo 8PSK y más, que son más sensibles a las variaciones de fase, pero para las cuales el caudal de datos es actualmente del orden de 8 Mbits/segundo mínimo. A modo de ejemplo no limitativo, para una modulación de tipo BPSK en la que un símbolo corresponde a un bit, una variación de fase parásita inferior a $0,1^\circ$ en un símbolo, para un caudal de 6 Kbits/segundo que corresponde a un periodo de $170 \mu s$ y una señal transitoria de 5° ,

35 típicamente, es necesario una constante de tiempo τ igual a 8 ms. El dispositivo de filtrado puede utilizarse solo o en combinación con el primer y/o el segundo y el tercer modo de realización de la invención.

Aunque se haya descrito la invención con relación a modos de realización particulares, es más que evidente que no está limitada de ninguna manera a ellos y que comprende todos los equivalentes técnicos de los medios descritos, así como sus combinaciones si estas entran en el marco de la invención, que está definido en las reivindicaciones.

40

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de compensación digital de las variaciones, en función de la temperatura, de una magnitud eléctrica de un equipo de telecomunicaciones de radiofrecuencia espacial, integrado, incluyendo el equipo N dispositivos elementales (12a, 12b,..., 12c), donde N es superior o igual a uno, debiendo mantenerse la magnitud eléctrica del equipo en un valor de consigna predeterminado, consistiendo el procedimiento:
- en medir la temperatura (21) del equipo (10) en diferentes instantes de medición,
 - para cada instante de medición, en consultar unas tablas de correspondencia (40) en las que están registradas unas palabras de control digital a aplicar en el equipo (10) para compensar unas variaciones correspondientes de la magnitud eléctrica en función del valor de consigna predeterminado y de diferentes estados digitales de temperatura registrados correspondientes a diferentes valores de temperatura medidos,
 - cuando la temperatura medida está situada entre dos estados digitales de temperatura registrados en las tablas de correspondencia, en crear (41) unos estados digitales de temperatura intermedios situados entre los dos estados digitales de temperatura registrados y en calcular, por interpolación (42), unas palabras de control digital (43) correspondientes a los estados de temperatura digital intermedios creados,
 - en seleccionar una palabra de control digital correspondiente a la temperatura medida, y luego, en suministrar, en el equipo (10), el control analógico (27) correspondiente a la palabra de control digital seleccionada,
- estando el procedimiento **caracterizado porque** además consiste, entre dos palabras de control digital registradas, en crear, por interpolación, unas palabras de control digital intermedias codificadas en un número de bits superior al número de bits de las palabras de control digital registradas.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque**, cuando N es superior a uno, para cada cambio de estado digital de temperatura, el control analógico (27) correspondiente a la palabra de control digital seleccionada es suministrada a uno solo de los N dispositivos elementales (12a, 12b,..., 12c) del equipo (10), seleccionándose los N dispositivos elementales secuencialmente, por turnos, en cada cambio de estado digital de temperatura.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque**, para cada cambio de estado digital de temperatura, el control analógico (27) correspondiente a la palabra de control digital seleccionada está distribuido en N controles analógicos elementales respectivamente suministrados a los N dispositivos elementales (12a, 12b,..., 12c) del equipo (10), estando los N controles analógicos elementales desplazados temporalmente los unos con respecto a los otros.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** consiste además, en aplicar un filtrado temporal lineal (70) en la tensión de control analógico.

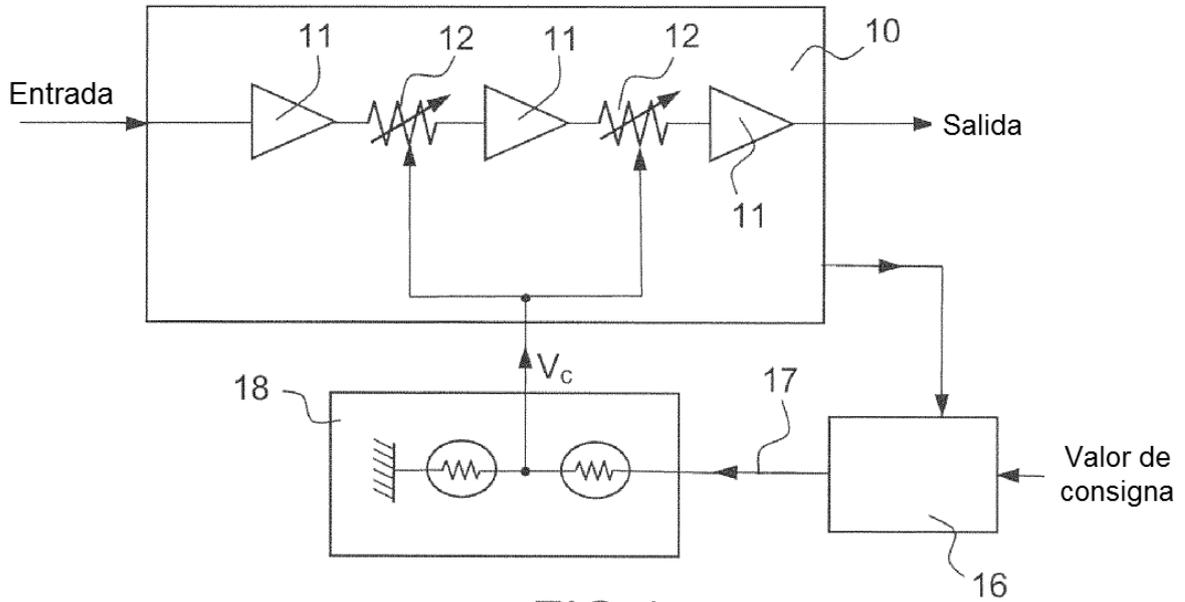


FIG.1

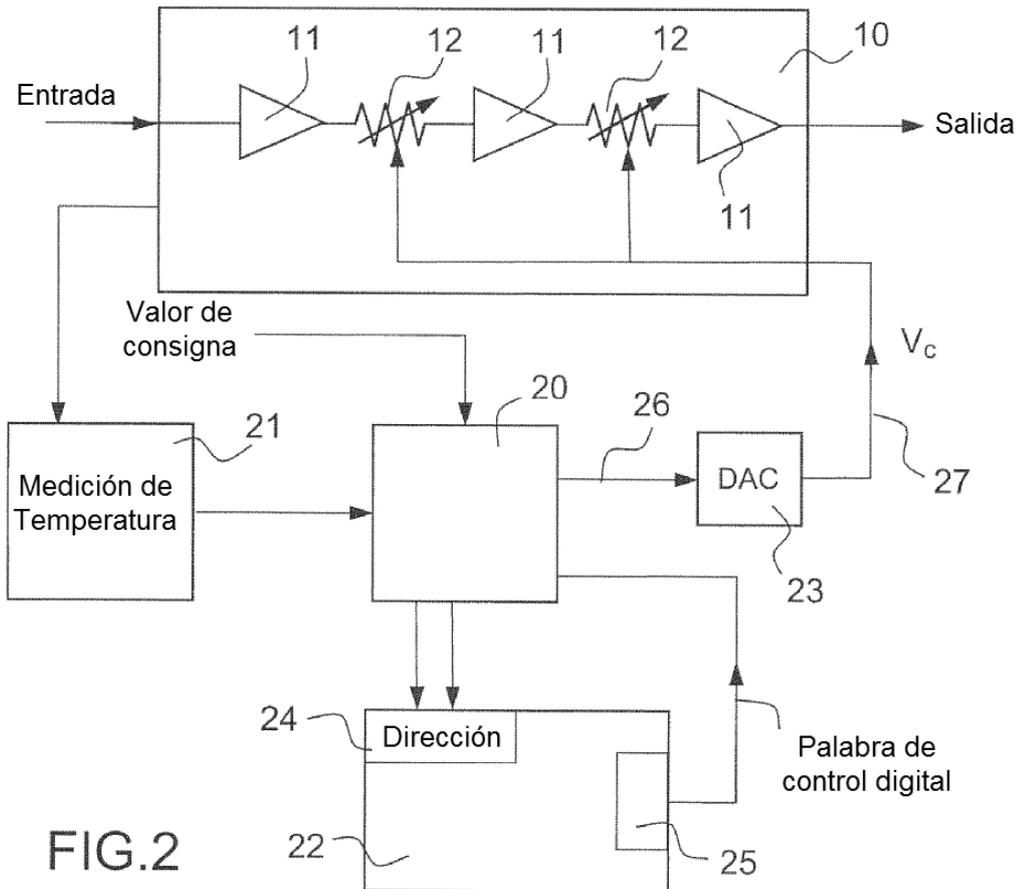


FIG.2

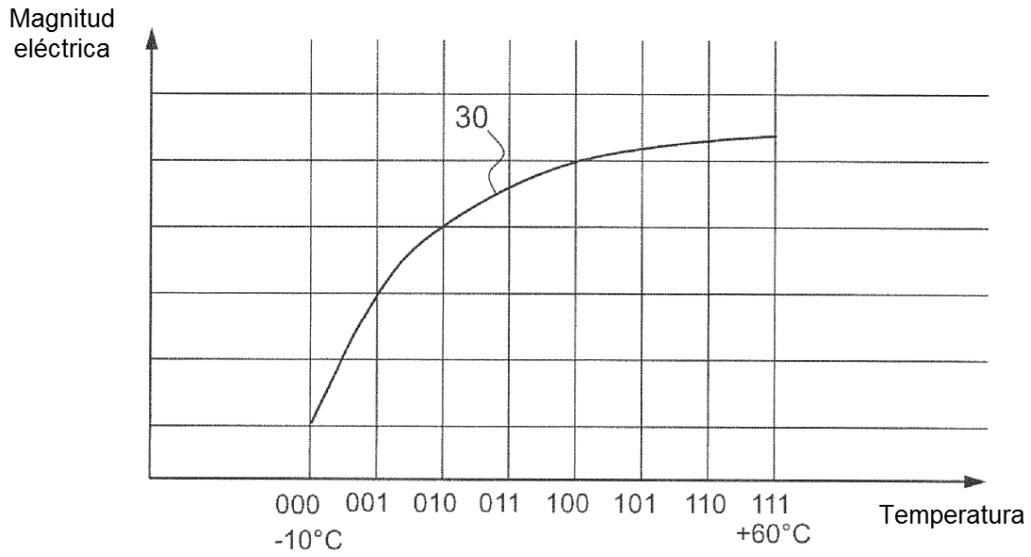


FIG.3a

Temperatura medida (°C)	estados digitalizados de temperatura binaria	palabra de control memorizada (decimal)	tensión de salida del DAC (V _c)
-10	000	7	4,00
0	001	5	2,86
10	010	4	2,29
20	011	3	1,71
30	100	2	1,14
40	101	2	1,14
50	110	2	1,14
60	111	2	1,14

FIG.3b

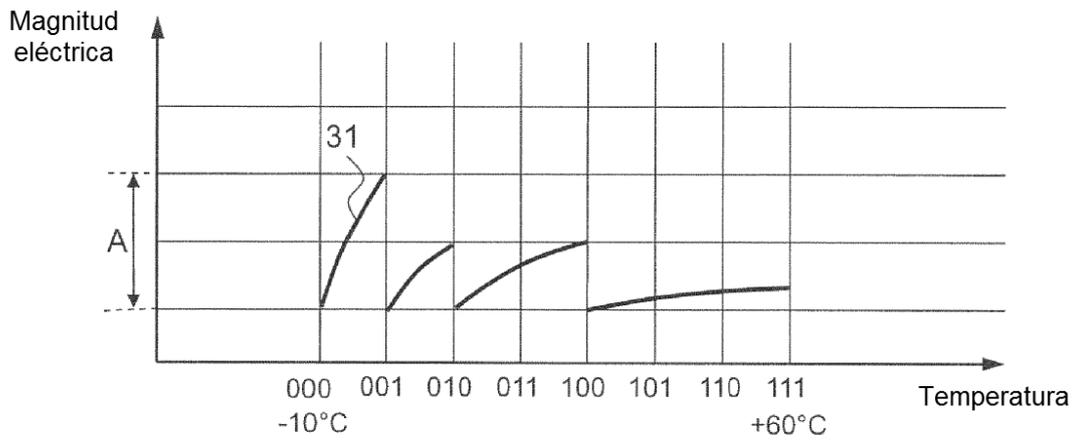


FIG.3c

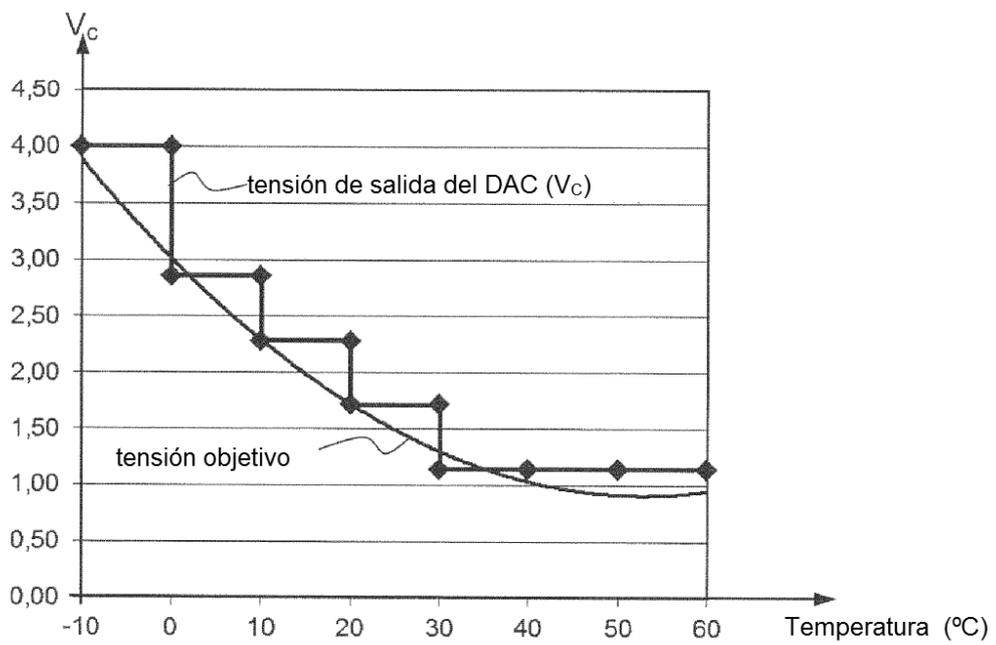


FIG.3d

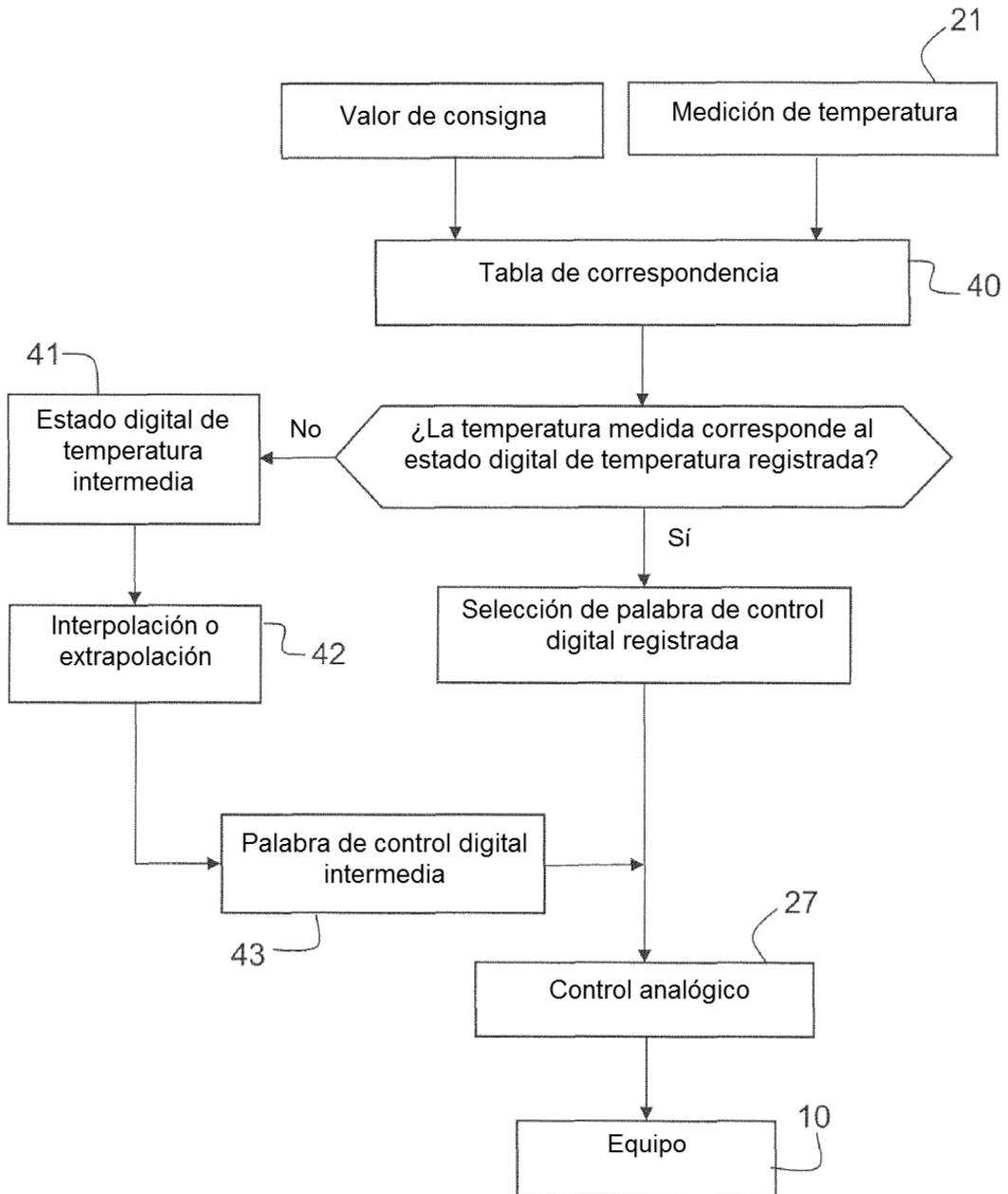


FIG.4a

ES 2 719 553 T3

Temperatura medida (°C)	estados digitalizados de temperatura (binaria)	estados digitalizados de temperatura (decimal)	palabra de control memorizada (decimal)	palabra de control calculada (decimal)	palabra de control aplicada (decimal)	tensión de salida del DAC (Vc)
-10	00000	0	7	/	7	4,00
-7,5	00001	1		6	6	3,43
-5	00010	2		6	6	3,43
-2,5	00011	3		5	5	2,86
0	00100	4	5	/	5	2,86
2,5	00101	5		4	4	2,29
5	00110	6		4	4	2,29
7,5	00111	7		4	4	2,29
10	01000	8	4	/	4	2,29
12,5	01001	9		3	3	1,71
15	01010	10		3	3	1,71
17,5	01011	11		3	3	1,71
20	01100	12	3	/	3	1,71
22,5	01101	13		2	2	1,14
25	01110	14		2	2	1,14
27,5	01111	15		2	2	1,14
30	10000	16	2	/	2	1,14
32,5	10001	17		2	2	1,14
35	10010	18		2	2	1,14
37,5	10011	19		2	2	1,14
40	10100	20	2	/	2	1,14
42,5	10101	21		2	2	1,14
45	10110	22		2	2	1,14
47,5	10111	23		2	2	1,14
50	11000	24	2	/	2	1,14
52,5	11001	25		2	2	1,14
55	11010	26		2	2	1,14
57,5	11011	27		2	2	1,14
60	11100	28	2	/	2	1,14
62,5	11101	29				
65	11110	30				
67,5	11111	31				

FIG.4b

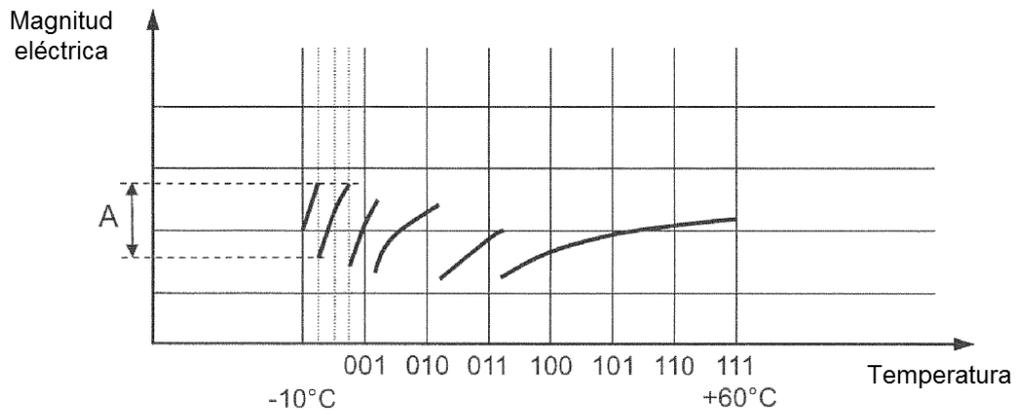


FIG.4c

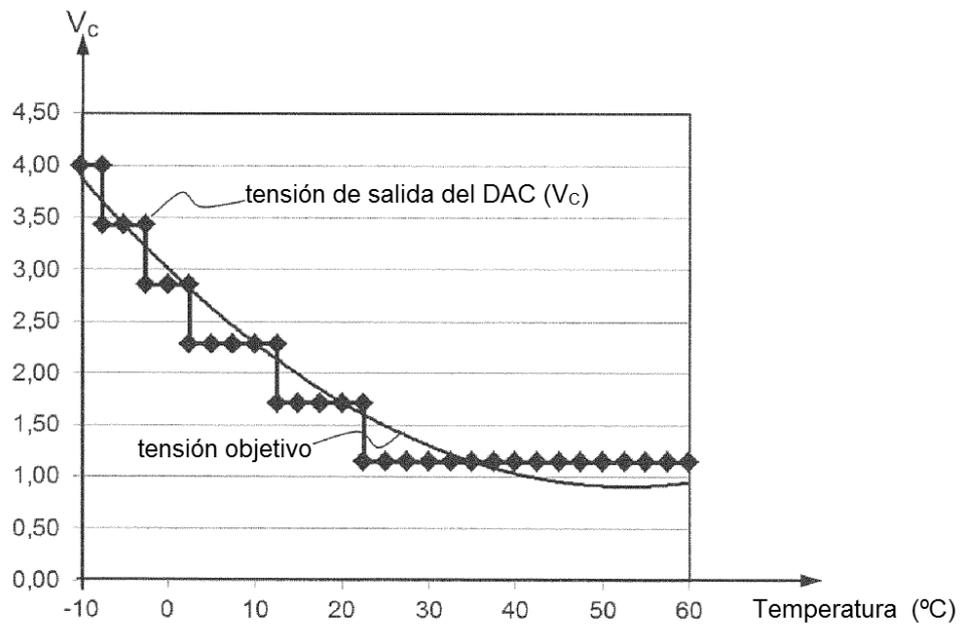


FIG.4d

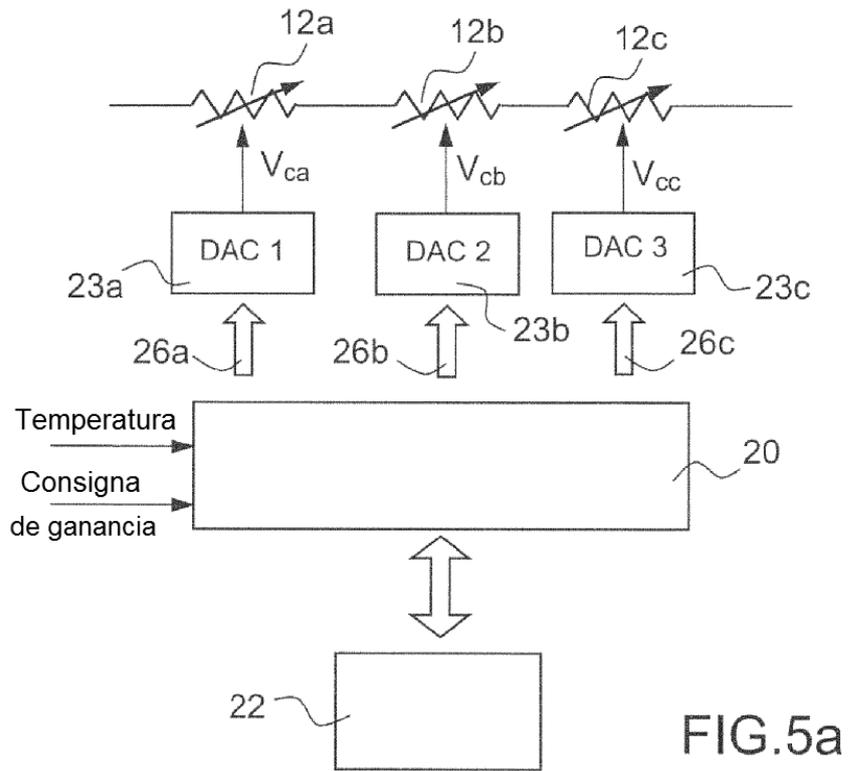


FIG. 5a

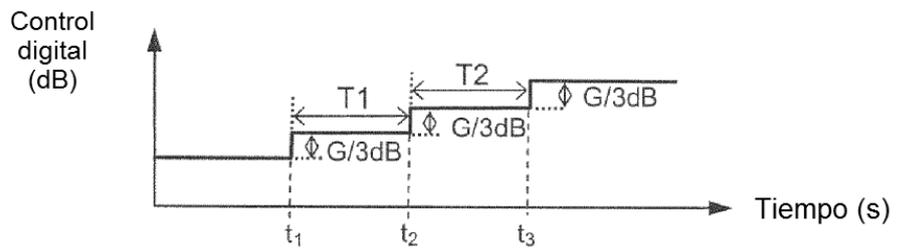


FIG. 5b

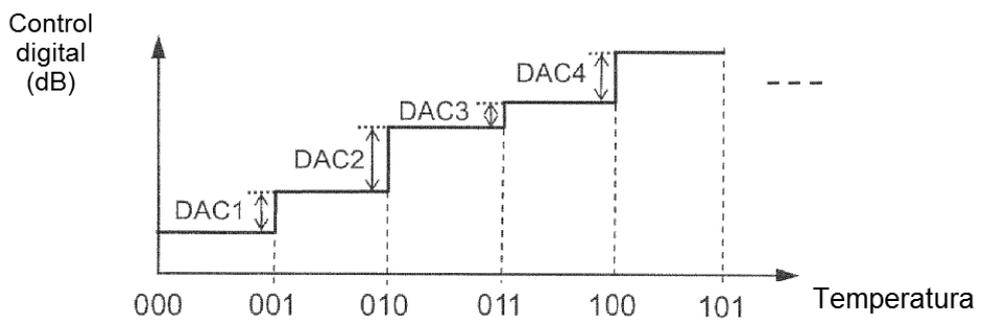


FIG. 5c

Temperatura medida (°C)	estados digitalizados de temperatura (binaria)	estados digitalizados de temperatura (decimal)	palabra de control memorizada (decimal, i bits)	palabra de control calculada (decimal, j bits) y aplicada a la entrada del DAC	tensión de salida del DAC (V _c)
-10	00000	0	7	28	4,00
-7,5	00001	1		26	3,71
-5	00010	2		24	3,43
-2,5	00011	3		22	3,14
0	01100	4	5	20	2,86
2,5	01001	5		19	2,71
5	01010	6		18	2,57
7,5	01011	7		17	2,43
10	01000	8	4	16	2,29
12,5	01001	9		15	2,14
15	01010	10		14	2,00
17,5	01011	11		13	1,86
20	01100	12	3	12	1,71
22,5	01101	13		11	1,57
25	01110	14		10	1,43
27,5	01111	15		9	1,29
30	10000	16	2	8	1,14
32,5	10001	17		8	1,14
35	10010	18		8	1,14
37,5	10011	19		8	1,14
40	10100	20	2	8	1,14
42,5	10101	21		8	1,14
45	10110	22		8	1,14
47,5	10111	23		8	1,14
50	11000	24	2	8	1,14
52,5	11001	25		8	1,14
55	11010	26		8	1,14
57,5	11011	27		8	1,14
60	11100	28	2	8	1,14
62,5	11101	29		8	1,14
65	11110	30		8	1,14
67,5	11111	31		8	1,14

FIG.6a

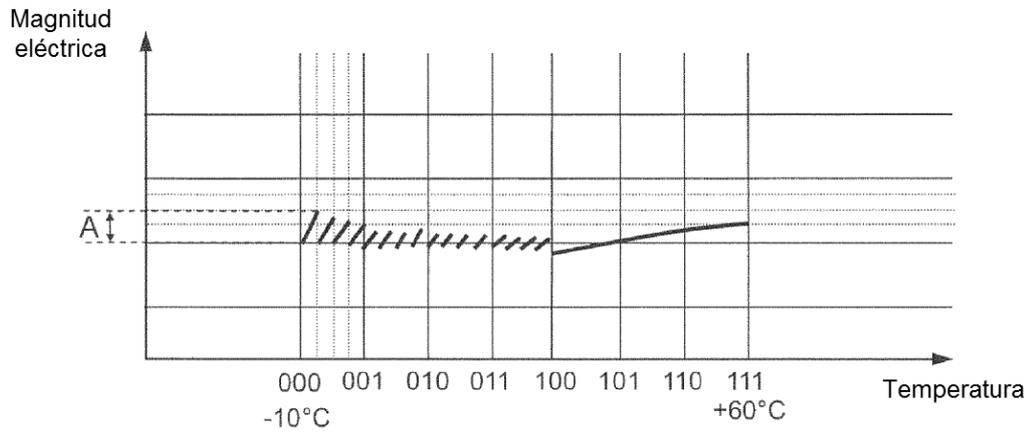


FIG.6b

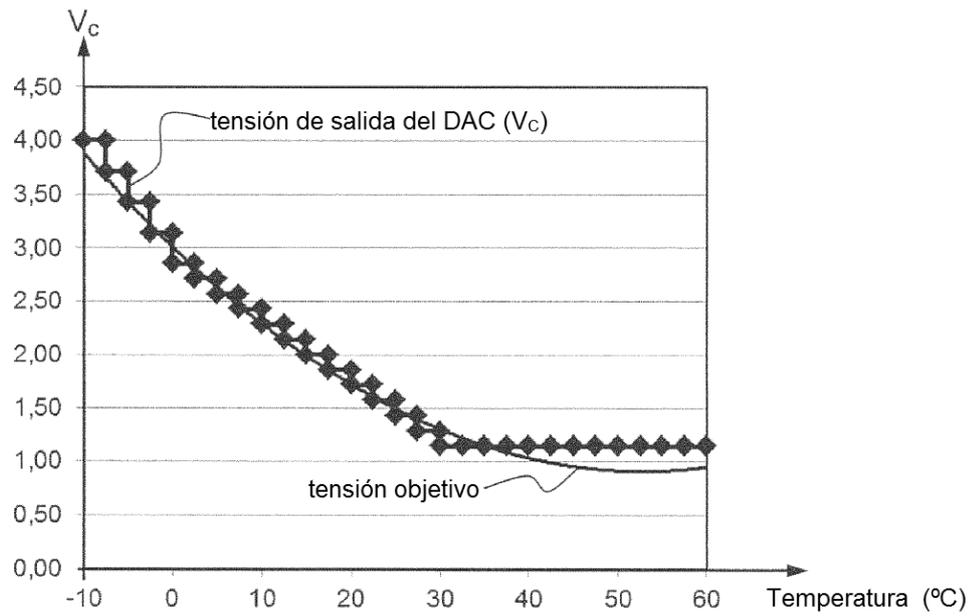


FIG.6c

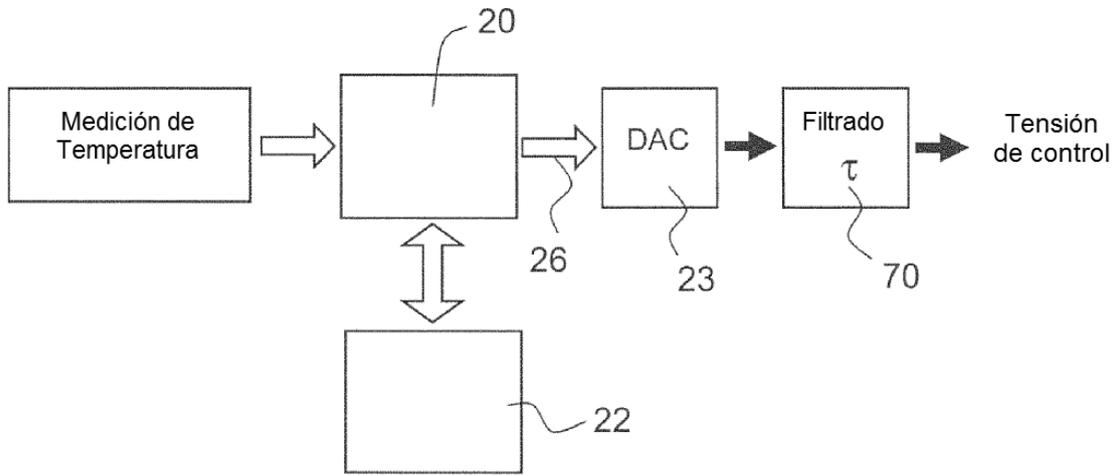


FIG.7a

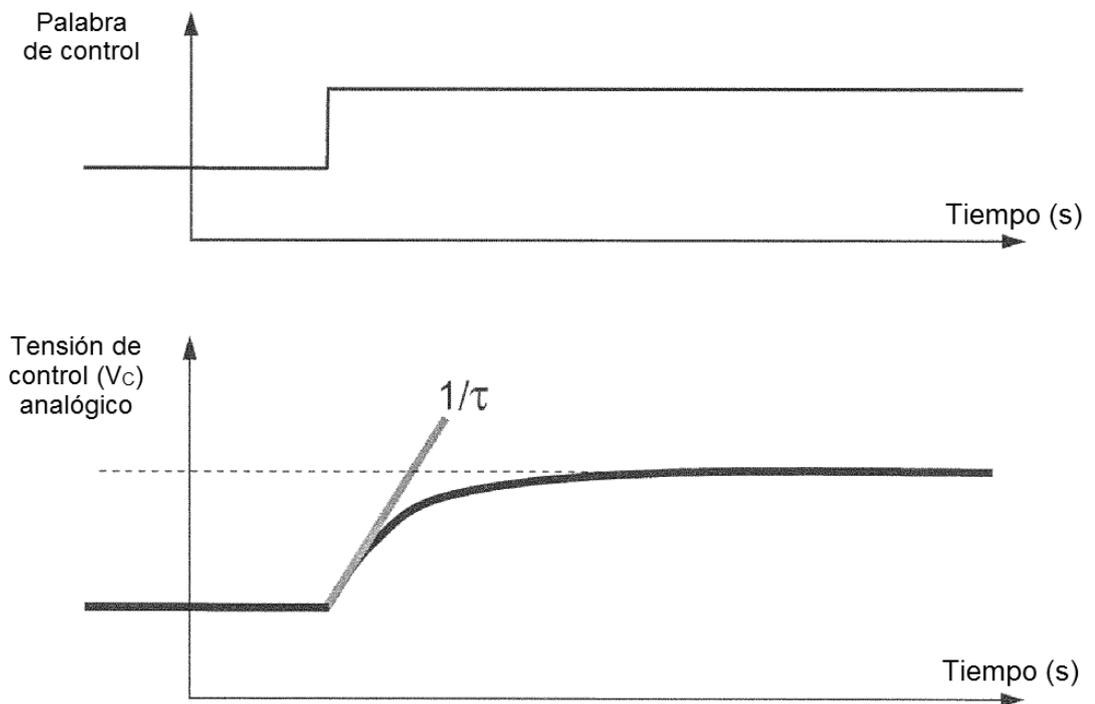


FIG.7b