

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 371 810**

51 Int. Cl.:  
**G01P 13/02** (2006.01)  
**G01P 5/24** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09179195 .4**  
96 Fecha de presentación: **15.12.2009**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2202525**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **30.06.2010**

54 Título: **SONDA DE MEDICIÓN AERODINÁMICA DE UN FLUJO DE AIRE A LO LARGO DE UNA PARED.**

30 Prioridad:  
**23.12.2008 FR 0807392**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**10.01.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**10.01.2012**

73 Titular/es:  
**THALES**  
**45, RUE DE VILLIERS**  
**92200 NEUILLY SUR SEINE, FR**

72 Inventor/es:  
**Choisnet, Joel**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

**ES 2 371 810 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

Sonda de medición aerodinámica de un flujo de aire a lo largo de una pared

5 La invención se refiere a una sonda de medición aerodinámica de un flujo de aire a lo largo de una pared. La invención permite, en particular, la determinación de la incidencia de un flujo de aire con respecto a una referencia axial tangente a la pared. La invención encuentra una utilidad particular en el campo de la aeronáutica en el que el conocimiento de la incidencia del flujo de aire que rodea a una aeronave es esencial para el pilotaje de la aeronave. La incidencia con respecto a un plano horizontal es un parámetro importante para determinar la sustentación de la aeronave, por ejemplo, durante un aterrizaje. La incidencia con respecto a un plano vertical es igualmente importante, es el resbalamiento de la aeronave. Para determinar estos dos parámetros, incidencia y resbalamiento, se pueden medir localmente la orientación del flujo de aire con respecto al revestimiento de la aeronave. También se pueden medir dos componentes de la velocidad del flujo de aire en un punto del revestimiento de la aeronave para determinar la dirección del flujo de aire.

15 Se conocen numerosos principios de sondas y se utilizan de manera habitual para las mediciones de la velocidad o de la dirección de flujo.

20 Una primera familia de sondas utiliza un apéndice que sale del revestimiento de la aeronave. Este apéndice puede ser fijo. Puede comprender unas tomas de presión alrededor de este apéndice o unos sensores de la fuerza ejercida por el flujo de aire. Este apéndice puede ser móvil en forma de bandera que se orienta en el eje del flujo de aire. La orientación de la bandera da entonces la incidencia del flujo de aire. En la primera familia de sondas también se encuentra la utilización del efecto de remolino al realizar unas mediciones sobre unos torbellinos por debajo de un cuerpo cilíndrico, por ejemplo, la utilización de molinetes para medir una velocidad de flujo según una dirección dada, la utilización de un filamento caliente como anemómetro.

25 Las sondas de esta primera familia son frágiles dada la presencia de un cuerpo exterior al revestimiento de la aeronave. Se deben diseñar para resistir la abrasión del flujo de aire y, en particular, de las partículas que este puede transportar. Estas perjudican al aerodinamismo de la aeronave al generar una resistencia. Durante los vuelos de gran altitud, estas sondas se deben descongelar y consumen, por lo tanto, potencia eléctrica. Las sondas móviles deben comprender unos sistemas de estanquidad entre la parte fija y las partes móviles con el mínimo rozamiento.

30 Una segunda familia de sondas permite eliminar cualquier apéndice externo al revestimiento de la aeronave. Existen unos sistemas ópticos que se basan en láseres, pero actualmente son complejos, caros y voluminosos. Se acaban utilizando, por lo general, como sistemas de referencia.

35 Los sistemas por ultrasonidos han sido, por lo tanto, objeto de un gran interés por parte de numerosos fabricantes. La idea de base consiste en medir los tiempos de propagación de ondas acústicas entre unos elementos emisores y unos receptores fijos los unos respecto de los otros, para identificar las velocidades de una onda sonora, en función de la velocidad del sonido y de la velocidad del fluido, de acuerdo con varias direcciones, y por último la dirección del flujo, por ejemplo la incidencia o el resbalamiento en las aplicaciones aeronáuticas.

40 Actualmente se conocen varios tipos de dispositivos. En el documento US 4 143 548 un emisor genera una onda ultrasónica hacia dos receptores respectivamente situados por encima y por debajo. La fase relativa de las señales recibidas da una indicación acerca de la diferencia de las velocidades en cada una de las dos direcciones de propagación, hacia arriba y hacia abajo. Este dispositivo supone de manera implícita que las señales no estén perturbadas para que se pueda medir la fase entre dos señales sinusoidales. Por otra parte, este dispositivo impone unas restricciones sobre la frecuencia o la longitud de onda con respecto a la distancia entre transmisor y receptores. Por último, los receptores deben ser idénticos en términos de función de transferencia y de retardo intrínseco.

45 Los documentos US 4 112 756, DE 3506591 y US 4 890 488 proponen unas ideas similares, con mediciones del tiempo de propagación entre unos emisores y unos receptores de acuerdo con diferentes configuraciones.

50 El documento US 5 585 557 propone un dispositivo completamente pasivo, es decir, sin transmisor. Las turbulencias del deslizamiento se reciben y se detectan por medio de un primer receptor y se propagan hacia abajo, donde las reciben y las detectan otros receptores situados a una misma distancia, con unos retardos que dependen de las características del deslizamiento en dirección y velocidad. Los tiempos de tránsito se calculan a partir de cálculos de correlación cruzada entre las señales. Una estimación de la dirección del deslizamiento es la que viene definida por el primer receptor y el receptor situado por debajo que presenta el tiempo de tránsito más bajo. La precisión del sistema está ligada al número de sensores.

55 El documento US 7 155 969 propone una mejora y una simplificación del anterior sistema, utilizando un menor número de sensores, y siendo capaz de funcionar a través del revestimiento del avión. Estos sensores no son necesariamente unos sensores acústicos tipo micrófono que necesitan unos pasos en el revestimiento del avión para detectar las fluctuaciones de presión, sino que también podrían ser unos acelerómetros, unos medidores de tensión u otros sensores de otro tipo montados sobre el revestimiento del avión, por ejemplo. La propagación de las

fluctuaciones de presión generadas por la turbulencia se puede remplazar por la propagación de una excitación mecánica del revestimiento del avión por medio de un dispositivo adecuado, un sensor activo piezoeléctrico, por ejemplo. Las mediciones de tiempos de propagación también se hacen a partir de cálculos de correlación cruzada entre las señales recibidas por los diferentes sensores.

- 5 Todos estos documentos describen unos sistemas que comprenden varios sensores receptores de señales, y se utilizan unos intervalos entre las señales recibidas para llegar a los tiempos de propagación, luego a las velocidades y por último a la dirección de deslizamiento.

La medición experimental del tiempo de tránsito entre un transmisor y un receptor resulta ser mayor que la prevista en la teoría, con un valor relativamente casi constante. En consecuencia, los métodos de mediciones de los tiempos de recorrido necesitan unos calibrados de los receptores, al presentar cada uno sus características propias de tiempo de respuesta, ancho de banda, etc. Estos calibrados de los receptores se realizan en función de las condiciones medioambientales, temperatura y presión en particular. La medición precisa de la incidencia a partir de las mediciones de tiempo de recorrido de las ondas ultrasónicas se muestra, por lo tanto, bastante compleja, debido a las características de los diferentes receptores. En el caso de los sistemas totalmente pasivos, sin ningún excitador activo, las señales acústicas que se reciben son simplemente un ruido acústico. Un mal funcionamiento de uno de los sensores receptores es de este modo difícil de detectar, excepto quizás si el sensor se encuentra en cortocircuito franco. Por otra parte, los cálculos de correlación cruzada, para poder realizarse, exigen unos muestreos y la memorización de señales de bajo nivel.

Por último, todos estos sistemas suponen implícitamente que la señal del tipo ruido acústico se propaga de manera idéntica a sí misma, lo que no es más que una primera aproximación.

El objeto de la invención es dar solución a estos defectos proponiendo un método más simple y más fiable para la medición del tiempo de propagación de una onda entre dos puntos dados.

Para ello, la invención tiene por objeto una sonda de medición aerodinámica de un flujo de aire a lo largo de una pared, que se caracteriza porque esta comprende varios emisores que pueden emitir, cada uno, una onda sonora y un receptor sensible a las diferentes ondas sonoras.

De manera ventajosa la sonda comprende unos dispositivos de medición de los tiempos de recorrido entre cada uno de los emisores y el receptor.

Se ha visto con anterioridad que la medición del tiempo de recorrido entre un transmisor y un receptor estaba viciada de un error. El solicitante se ha dado cuenta de que este error estaba causado principalmente por el receptor y no por el transmisor. Al no utilizar más que un único receptor y varios emisores, el error en la medición se mantiene constante y solo resulta necesaria una única calibración.

Se entenderá mejor la invención y se mostrarán otras ventajas con la lectura de la descripción detallada de un modo de realización que se da a título de ejemplo, descripción que se ilustra con los dibujos que se adjuntan en los que:

- La figura 1 representa un ejemplo de distribución de un receptor y de varios emisores;
- Las figuras 2a a 2e representan en forma de cronograma, las señales emitidas por los emisores y recibidas por el receptor.

En aras de la claridad, los mismos elementos llevarán las mismas referencias en las diferentes figuras.

La figura 1 representa un dispositivo de acuerdo con la invención y consta de cuatro emisores E1, E2, E3, E4, por ejemplo idénticos, y de un receptor único R. Por supuesto, se puede aplicar la invención a partir de dos emisores que puedan emitir una onda sonora recibida por el receptor único R. La onda sonora puede ser ultrasónica, por ejemplo a una frecuencia del orden de 40 kHz. El receptor R puede ser un micrófono sensible a las ondas emitidas por los emisores o resonante, es decir, sensible a una frecuencia particular.

Los emisores E1, E2, E3, E4 son todos prácticamente coplanarios en un plano tangente a la superficie de una pared, por ejemplo el revestimiento de un avión. El plano tangente a la superficie del revestimiento es el de la figura 1. Los emisores E1, E2, E3 y E4 de manera ventajosa se distribuyen alrededor del receptor R. Pueden estar situados a igual distancia  $d$  del receptor R, y con una distancia de  $90^\circ$  alrededor del receptor R. Dicho de otro modo, los emisores E1 a E4 están todos situados en un círculo con un diámetro  $2d$  centrado sobre el receptor R y distribuidos de manera regular por este círculo. Para una medición de incidencia, el receptor R se ubica prácticamente en un plano de simetría horizontal del avión, la dirección E3-E1 es una referencia longitudinal 10, paralela al plano de simetría horizontal del avión. La dirección de un flujo de aire, representada por un eje 11, forma un ángulo  $\alpha$  con esta referencia,  $\alpha$  es la incidencia local que se pretende medir. Para una medición del deslizamiento del avión, el receptor R se ubica prácticamente en un plano de simetría vertical del avión.

Llamando  $c$  a la velocidad del sonido,  $M$  al número de Mach local y  $V$  a la velocidad del flujo de aire a la altura del receptor R, tenemos que:  $M = V/c$ . Se demuestra que el tiempo de recorrido teórico  $T1$  de una onda sonora emitida

por los emisores E1 y recibida por el receptor R viene dado por:

$$T_1 = \frac{d}{c} \frac{M \cdot \cos \alpha + \sqrt{1 - M^2 \sin^2 \alpha}}{1 - M^2} \quad (1)$$

Esta fórmula tiene en cuenta el hecho de que la posición del receptor R ha variado entre el instante en el que el transmisor E1 emite la onda sonora y aquel en el que la recibe el receptor R.

- 5 Los tiempos de propagación T2, T3 y T4, respectivamente para los emisores E2, E3 y E4, se obtienen por medio de unas fórmulas similares reemplazando respectivamente  $\alpha$  por  $(\alpha + \pi / 2)$ ,  $(\alpha + \pi)$ ,  $(\alpha + 3\pi / 2)$ .

La incidencia  $\alpha$  se obtiene entonces por medio de la fórmula:

$$\text{Tangente } (\alpha) = (T_2 - T_4) / (T_3 - T_1) \quad (2)$$

- 10 En la práctica se miden unos tiempos de recorrido viciados con un error. Los tiempos de recorrido medidos se escriben T'1, T'2, T'3 y T'4 respectivamente entre cada uno de los emisores E1 a E4 y el receptor R. Como ya se ha visto con anterioridad, el error de medición e se mantiene constante para el receptor R. Tenemos, por lo tanto, que:

$$T'1 = T_1 + e \quad (3)$$

$$T'2 = T_2 + e \quad (4)$$

$$T'3 = T_3 + e \quad (5)$$

15  $T'4 = T_4 + e \quad (6)$

El hecho de separar las mediciones del tiempo de recorrido de dos en dos, permite, por lo tanto, eliminar este error e, incluso sin conocer su valor exacto. Tenemos, por lo tanto, que:

$$T_3 - T_1 = T'3 - T'1 \quad (7)$$

$$T_4 - T_2 = T'4 - T'2 \quad (8)$$

- 20 La fórmula de cálculo de la incidencia  $\alpha$  a partir de los valores medidos de los tiempos de recorrido T'1, T'2, T'3 y T'4 se convierten, por lo tanto, en:

$$\text{Tangente } (\alpha) = (T'2 - T'4) / (T'3 - T'1) \quad (9)$$

- 25 Tras haber determinado la incidencia local del flujo de aire se puede determinar la velocidad del flujo de aire expresada en número de Mach. También se puede determinar la velocidad del flujo de aire expresada de la manera más habitual en una unidad de medida del sistema internacional o en nudos según una convención generalizada en el campo de la aeronáutica a partir de la temperatura del flujo de aire y de su presión.

- 30 De manera ventajosa, se prefiere medir de forma sucesiva los tiempos de recorrido T'1, T'2, T'3 y T'4, activando de manera secuencial los emisores, para poder discriminarlos con facilidad. No obstante, se pueden considerar mediciones simultáneas, si las formas de onda emitidas por los emisores son lo bastante diferentes como para poder discriminar los tiempos de recorrido T'1, T'2, T'3 y T'4. La explotación de las señales recibidas por el receptor R es, entonces, más compleja.

- 35 La sonda puede comprender unos dispositivos para detectar un desfase de una señal recibida por el receptor R con respecto a una señal emitida por unos emisores E1, E2, E3 y E4. En este caso, la onda sonora emitida puede ser una onda de la cual una frecuencia está modulada. Un ejemplo de una modulación de este tipo se conoce en la

literatura anglosajona con el nombre de « Chirp » para gorjeos. Se trata, por ejemplo, de una señal sinusoidal cuya frecuencia varía linealmente en el tiempo en torno a una frecuencia central. El dispositivo comprende entonces unos dispositivos para decodificar una modulación en frecuencia de la señal recibida por el receptor R.

5 Las figuras 2a a 2e representan en forma de cronograma simplificado un ejemplo de señales emitidas y recibidas de acuerdo con la invención. Las figuras 2a a 2d representan la amplitud en función del tiempo  $t$  de una señal emitida respectivamente por cada uno de los emisores E1 a E4. La figura 2e representa la amplitud de la señal recibida por el receptor R en función de la misma escala de tiempo. Los cuatro emisores E1 a E4 se activan de manera sucesiva por medio de una señal que aquí se representa en forma de un impulso breve de tipo impulso de Dirac, respectivamente 21 a 24. La ventaja de este tipo de impulso radica en el hecho de que este comprende un frente durante su establecimiento.

10 El tiempo que pasa entre dos impulsos consecutivos se selecciona de manera ventajosa como si fuera siempre superior al más amplio de los tiempos de recorrido posibles entre uno cualquiera de los emisores E1 a E4 y el receptor R, con el fin de que no exista ambigüedad en la recepción por parte del receptor R. Aquí se han seleccionado unos intervalos iguales TO para separar dos impulsos consecutivos. Por supuesto se puede reducir el intervalo TO previendo unos dispositivos de discriminación de las diferentes señales recibidas por el receptor R. Para ello, la onda sonora emitida por los diferentes emisores E1 a E4 puede ser una onda cuya frecuencia está modulada. El dispositivo comprende entonces unos dispositivos para decodificar una modulación en frecuencia de la señal recibida por el receptor R.

15 El receptor detecta de manera sucesiva unos impulsos 31 a 34. La forma de la señal que se ha representado no es más que una aproximación a la realidad. Los impulsos 31 a 34 corresponden respectivamente a la detección por parte del receptor R de los impulsos 21 a 24 emitidos por cada uno de los emisores E1 a E4.

20 Los tiempos de propagación medidos  $T'1$ ,  $T'2$ ,  $T'3$  y  $T'4$  vienen determinados por la diferencia entre los frentes ascendentes de las señales emitidas 21 a 24 y las señales respectivas recibidas 31 a 34. Los frentes ascendentes de las señales emitidas 21 a 24 se identifican muy bien por medio de las señales eléctricas de excitación de los emisores E1 a E4.

25 La señal recibida puede no presentar un frente ascendente tan claro debido a la propagación de la onda sonora por el aire. Para paliar este problema, la sonda comprende de manera ventajosa unos medios de tratamiento de una señal recibida por el receptor R, los medios de tratamiento comprendiendo unos dispositivos para formar una señal envolvente de la señal recibida y unos dispositivos para generar una señal binaria de la cual un frente ascendente aparece cuando la señal envolvente supera un primer umbral y de la cual un frente descendente aparece cuando la señal envolvente pasa por debajo de un segundo umbral, el primer umbral siendo superior al segundo umbral. Los dispositivos para generar la señal binaria pueden comprender un circuito disparador Schmitt.

30 Los frentes ascendentes que se generan de este modo se retardan entonces por su conformación, pero en una cantidad igual para todos los impulsos recibidos correspondientes a los diferentes emisores E1 a E4. Este retardo que se añade al tiempo de respuesta propio del receptor R no afecta, por lo tanto, a la medición de las diferencias de los tiempos de propagación, que es la única útil para la medición de la incidencia.

35 La invención presenta la ventaja de una detección fácil de una avería en cualquiera de los emisores E1 a E4 o del receptor R. La ausencia de un impulso 31 a 34 permite determinar que se ha averiado el emisor correspondiente. La ausencia de cualquier impulso permite determinar o bien que el receptor R se ha averiado o bien que el conjunto de la sonda se ha averiado.

40 Se puede aplicar una variante de realización de la sonda que permite determinar la incidencia del flujo de aire a partir de tres emisores y un receptor. Las ecuaciones que hay que resolver son más complejas, y es preciso calcular también la velocidad del sonido  $c$  y la velocidad del deslizamiento. Esta variante presenta, sin embargo, la ventaja de reducir el número de emisores.

45

**REIVINDICACIONES**

1. Sonda de medición aerodinámica de un flujo de aire a lo largo de una pared, **que se caracteriza porque** esta comprende varios emisores (E1, E2, E3, E4) que pueden emitir, cada uno, una onda sonora y un receptor (R) sensible a las diferentes ondas sonoras.
- 5 2. Sonda según la reivindicación 1, **que se caracteriza porque** comprende unos dispositivos de medición de los tiempos de recorrido (T'1, T'2, T'3, T'4) entre cada uno de los emisores (E1, E2, E3, E4) y el receptor (R).
3. Sonda según una de las reivindicaciones anteriores, **que se caracteriza porque** los emisores (E1, E2, E3, E4) se distribuyen en torno al receptor (R).
- 10 4. Sonda según una de las reivindicaciones anteriores, **que se caracteriza porque** los emisores (E1, E2, E3, E4) se sitúan a igual distancia (d) del receptor (R).
5. Sonda según una de las reivindicaciones anteriores, **que se caracteriza porque** esta comprende cuatro emisores (E1, E2, E3, E4) situados a un paso de 90° alrededor del receptor (R).
6. Sonda de acuerdo con las reivindicaciones 2 y 5, **que se caracteriza porque** esta comprende unos medios para determinar una incidencia  $\alpha$  del flujo de aire con respecto a un eje que pasa por dos de los emisores (E1, E3) a partir de una ecuación:
- 15

$$\text{Tangente } (\alpha) = (T'2-T'4)/(T'3-T'1)$$

en la que T'1 a T'4 representan los tiempos de transito entre cada uno de los emisores (E1, E2, E3, E4) y el receptor (R).

- 20 7. Sonda según una de las reivindicaciones anteriores, **que se caracteriza porque** esta comprende unos dispositivos para generar una onda sonora que comprende un frente hacia cada uno de los emisores (E1, E2, E3, E4).
8. Sonda de acuerdo con las reivindicaciones 2 a 7, como reivindicación dependiente de la reivindicación 2, **que se caracteriza porque** esta comprende unos medios para activar de manera secuencial los emisores (E1, E2, E3, E4) de tal modo que midan sucesivamente los tiempos de transito (T'1, T'2, T'3, T'4)
- 25 9. Sonda de acuerdo con la reivindicación 8, **que se caracteriza porque** esta comprende unos medios para generar una onda sonora hacia cada uno de los emisores (E1, E2, E3, E4) y **porque** las ondas sonoras están separadas temporalmente por al menos un tiempo máximo de transito (T0) entre uno de los emisores (E1, E2, E3, E4) y el receptor (R).
10. Sonda según una de las reivindicaciones anteriores, **que se caracteriza porque** el receptor (R) es resonante.
- 30 11. Sonda según una de las reivindicaciones anteriores, **que se caracteriza porque** esta comprende unos medios de tratamiento de una señal que recibe el receptor (R), los medios de tratamiento comprendiendo unos medios para formar una señal envolvente de la señal recibida y unos medios para generar una señal binaria de la cual un frente ascendente aparece cuando la señal envolvente supera un primer umbral y de la cual un frente descendente aparece cuando la señal envolvente pasa por debajo de un segundo umbral y **porque** el primer umbral es superior al
- 35 segundo umbral.
12. Sonda según una de las reivindicaciones 1 a 9, **que se caracteriza porque** esta comprende unos medios para detectar un desfase en una señal recibida por el receptor (R) con respecto a una señal emitida por uno de los emisores (E1, E2, E3, E4).
- 40 13. Sonda de acuerdo con la reivindicación 10, **que se caracteriza porque** la onda sonora emitida es una onda de la cual una frecuencia está modulada y **porque** el dispositivo comprende unos medios para decodificar una modulación en frecuencia de la señal recibida por el receptor (R).

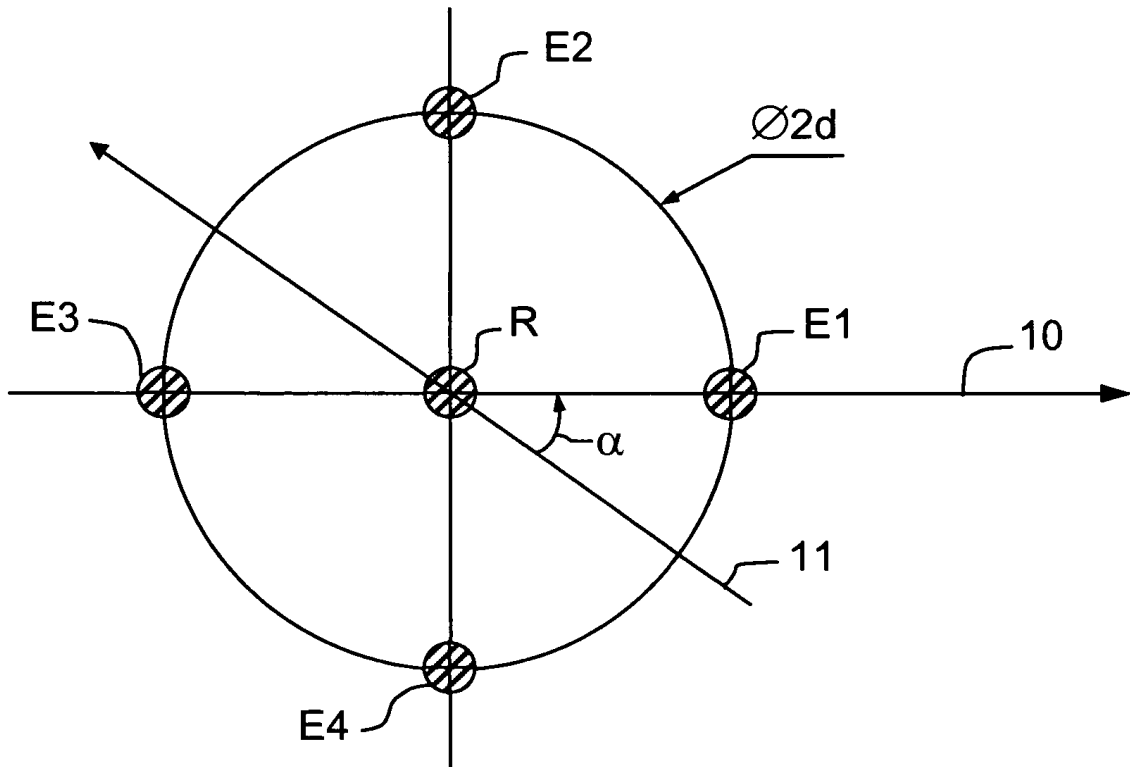


FIG.1

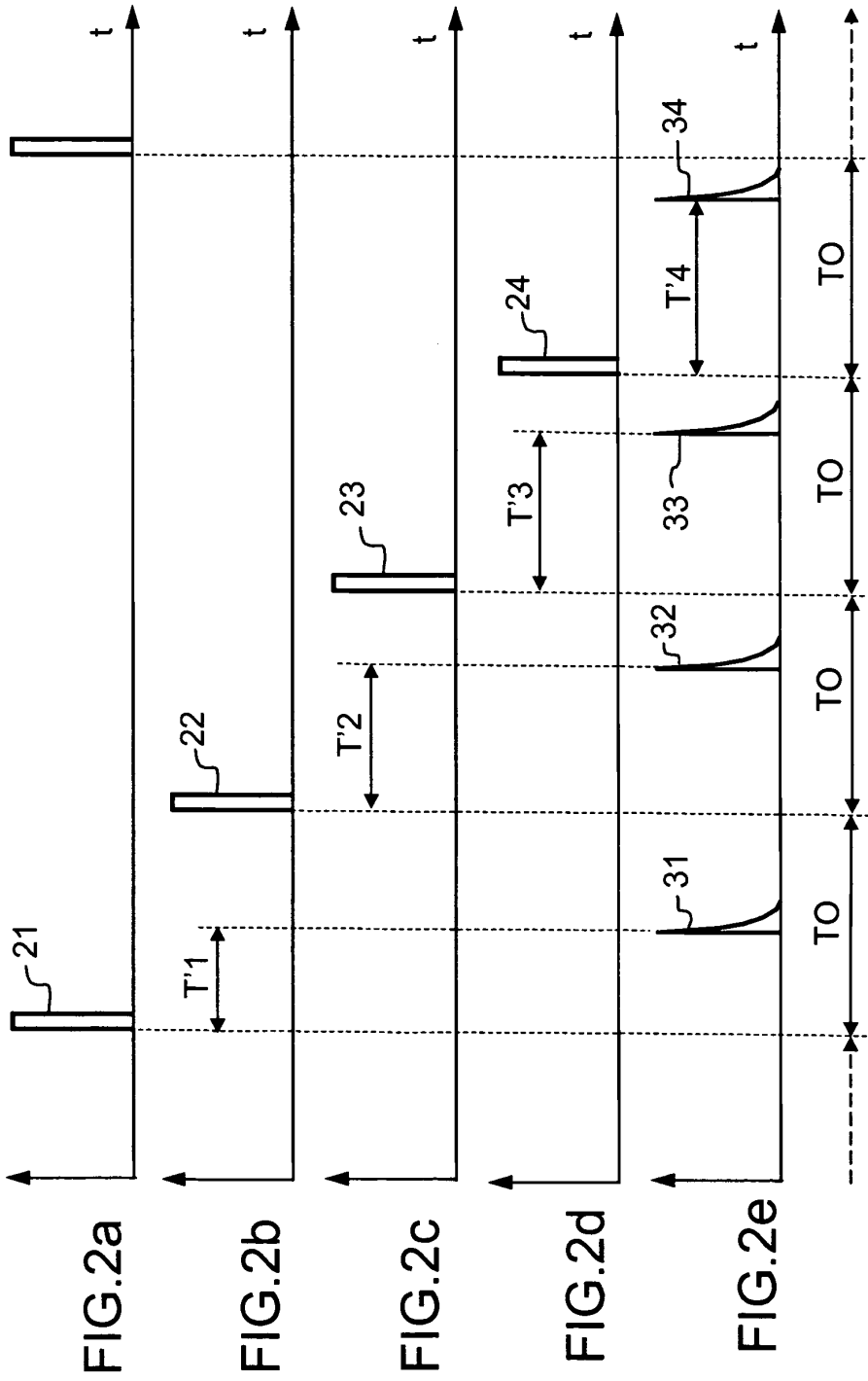


FIG.2