

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 984 496**

51 Int. Cl.:

A61B 17/32 (2006.01)

A61C 1/07 (2006.01)

A61B 17/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.01.2018** **PCT/FR2018/050198**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.08.2018** **WO18138453**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.01.2018** **E 18705687 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.02.2024** **EP 3573549**

54 Título: **Aparato de tratamiento por ultrasonidos con control automático de consigna**

30 Prioridad:

30.01.2017 FR 1750730

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

29.10.2024

73 Titular/es:

**SOCIÉTÉ POUR LA CONCEPTION DES
APPLICATIONS DES TECHNIQUES
ELECTRONIQUES - SATELEC (100.0%)
Zone Industrielle du Phare 17, Avenue Gustave
Eiffel
33700 Mérignac, FR**

72 Inventor/es:

**CAPET, XAVIER y
RECHE, CHARLES**

74 Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 2 984 496 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

Aparato de tratamiento por ultrasonidos con control automático de consigna

5 Técnica anterior de la invención

La presente invención se refiere a aparatos de tratamiento por ultrasonidos utilizados en particular en el campo dental, tales como los aparatos de limpieza dental, de pulido (eliminación de biopelículas) o de tallado (cavidades o preparaciones para prótesis), o en el campo quirúrgico (por ejemplo: cirugía maxilofacial y estomatología o cirugía ortopédica). Estos aparatos comprenden instrumentos que vibran a frecuencias ultrasónicas.

Los aparatos de tratamiento por ultrasonidos, como los divulgados en particular en los documentos US 2013/282038 y EP 2 138 123, comprenden generalmente una pieza de mano quirúrgica, un inserto o herramienta ultrasónica y un generador de ultrasonidos. La pieza de mano comprende un transductor piezoeléctrico constituido por una parte distal sobre la cual se fija el inserto ultrasónico y por un motor piezoeléctrico conectado al generador de ultrasonidos y acoplado mecánicamente a la parte distal. El motor piezoeléctrico transmite al inserto ondas ultrasónicas definidas en función de señales de consigna de corriente y de voltaje suministradas por el generador de ultrasonidos al motor piezoeléctrico. Las señales de consigna se fijan al inicio del tratamiento, determinándose su valor en función del tipo de tratamiento a realizar. Por ejemplo, en el campo dental, para el desbridamiento periodontal, la consigna de corriente y de voltaje es claramente menor que la necesaria para una limpieza dental. En consecuencia, para cada tipo de tratamiento dental, existe una consigna adecuada para el control de las ondas ultrasónicas.

Sin embargo, durante un tratamiento, el inserto ultrasónico puede encontrar medios o materiales que tienen diferentes durezas. El inserto puede, por ejemplo, encontrar al mismo tiempo tejidos blandos, como una encía, un músculo, etc. y unos tejidos más duros, como un hueso. El valor de la consigna es el mismo para un tipo de tratamiento, y esto sean cuales sean los medios o materiales encontrados por el inserto durante el tratamiento.

En consecuencia, durante un mismo tratamiento, es posible que la consigna que fija la amplitud de las señales de consigna de corriente y de voltaje suministradas por el generador de ultrasonidos no sea adecuada u óptima en relación con el medio o el material encontrado por el inserto, lo que puede conducir, por ejemplo, a riesgos de daños de las partes frágiles en contacto con el inserto o a una falta de eficacia del tratamiento cuando el inserto está en contacto con materiales muy resistentes.

35 Objeto y resumen de la invención

La presente invención tiene como objetivo remediar los inconvenientes antes mencionados y proponer una solución que permita adaptar las señales de consigna suministradas al transductor a la dureza del material en contacto con el inserto ultrasónico.

Este objetivo se alcanza gracias a un aparato de tratamiento por ultrasonidos que comprende por lo menos una pieza de mano quirúrgica, un inserto ultrasónico y un generador de ultrasonidos, comprendiendo la pieza de mano un transductor piezoeléctrico constituido por una parte distal sobre la que se fija el inserto ultrasónico, y por un motor piezoeléctrico conectado al generador de ultrasonidos y acoplado mecánicamente a la parte distal, transmitiendo dicho motor piezoeléctrico al inserto unas ondas ultrasónicas definidas en función de las señales de consigna de corriente y de voltaje suministradas por el generador de ultrasonidos al motor piezoeléctrico, comprendiendo además dicho aparato de tratamiento por ultrasonidos un módulo de control de amplitud de las señales de consigna configurado para:

- calcular una variación de la frecuencia y de la impedancia de una señal ultrasónica en el transductor piezoeléctrico,
- comparar la variación de la impedancia de la señal ultrasónica con un valor predeterminado de variación de impedancia,
- comparar la variación de la frecuencia de la señal ultrasónica con un valor predeterminado de variación de frecuencia,
- aumentar la amplitud de las señales de consigna de corriente y de voltaje suministradas por el generador de ultrasonidos cuando la variación de la impedancia de la señal ultrasónica calculada es mayor que el valor predeterminado de variación de impedancia, y cuando la variación de la frecuencia de la señal ultrasónica calculada es mayor que el valor predeterminado de variación de frecuencia, y
- reducir la amplitud de las señales de consigna de corriente y de voltaje suministradas por el generador de ultrasonidos cuando la variación de la impedancia de la señal ultrasónica calculada es mayor que el valor predeterminado de variación de impedancia y cuando la variación de la frecuencia de la señal ultrasónica

calculada es menor que el valor predeterminado de variación de frecuencia.

Así, el aparato de tratamiento dental según la invención es capaz de detectar el cambio de dureza del material en contacto con el inserto ultrasónico y de modificar automáticamente la amplitud de las señales de consigna suministradas al transductor en función de la dureza del material. El aparato de la invención asiste automáticamente a las acciones del profesional, que se beneficia así de una seguridad mejorada y de una mayor eficacia en su trabajo.

La presente invención es además destacable debido a que el cambio de dureza se detecta sin tener que equipar la pieza de mano con sensores suplementarios. En efecto, el cambio de dureza se detecta en función de las variaciones de impedancia y de frecuencia en el transductor, siendo dependientes las variaciones del material en contacto con el inserto ultrasónico. Este último desempeña el papel de sensor, lo que permite una precisión de medición óptima.

La variación de la frecuencia y de la impedancia de la señal ultrasónica en el transductor piezoeléctrico comprende la medición de por lo menos dos valores promedio de la frecuencia y de la impedancia de la señal ultrasónica en el transductor piezoeléctrico durante un período determinado, calculándose la variación de la frecuencia de la señal ultrasónica entre dos valores promedio medidos de la frecuencia de la señal ultrasónica, calculándose la variación de la impedancia de la señal ultrasónica entre dos valores promedio medidos de la impedancia de la señal ultrasónica. Los valores promedio de la frecuencia y de la impedancia de la señal ultrasónica en el transductor piezoeléctrico se pueden medir cada 100 milisegundos. En este caso, según un aspecto del procedimiento, el valor predeterminado de variación de frecuencia puede ser igual a 12 hercios, y el valor predeterminado de variación de impedancia puede ser igual a 26 ohmios.

Según también otro aspecto del aparato de la invención, la amplitud de las señales de consigna de corriente y de voltaje suministradas por el generador de ultrasonidos aumenta en un 20 % cuando la variación de la frecuencia de la señal ultrasónica calculada es mayor que el valor predeterminado de variación de frecuencia y cuando la variación de la impedancia de la señal ultrasónica calculada es mayor que el valor predeterminado de variación de impedancia. Asimismo, la amplitud de las señales de consigna de corriente y de voltaje suministradas por el generador de ultrasonidos se reduce en un 20 % cuando la variación de la frecuencia de la señal ultrasónica calculada es menor que el valor predeterminado de variación de frecuencia y cuando la variación de la impedancia de la señal ultrasónica calculada es mayor que el valor predeterminado de variación de impedancia.

Breve descripción de los dibujos

Otras características y ventajas de la invención se desprenderán de la siguiente descripción de modos particulares de la invención, dados a título de ejemplos no limitativos, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 es una vista esquemática de un aparato de tratamiento dental por ultrasonidos,
- la figura 2 es una vista esquemática en corte de la pieza de mano del aparato de la figura 1,
- la figura 3 es un esquema funcional de un circuito electrónico de control del generador de ultrasonidos del aparato de la figura 1 conforme a un modo de realización de la invención,
- la figura 4 es un diagrama de flujo que muestra unas etapas de un procedimiento de control de las señales de consigna en un aparato de tratamiento por ultrasonidos,
- la figura 5 es un gráfico que muestra las condiciones del control de la amplitud de las señales de consigna,
- la figura 6 es un ejemplo de implementación del control de amplitud de las señales de consigna.

Descripción detallada de los modos de realización de la invención

El aparato de tratamiento por ultrasonidos de la invención encuentra aplicaciones en el campo general de la cirugía, y más particularmente en el campo de la cirugía o de los tratamientos dentales, así como de la cirugía ósea (por ejemplo: cirugía maxilofacial u ortopédica). La figura 1 ilustra un aparato de tratamiento por ultrasonidos 100 que comprende un generador de ultrasonidos 110 conectado a una pieza de mano 200 mediante un cordón 111. Un sonotrodo o inserto ultrasónico 130 está montado en la parte superior o distal de la pieza de mano 200. De manera bien conocida, la pieza de mano 200 comprende un transductor (no mostrado en la figura 1) formado por un material piezoeléctrico y acoplado mecánicamente con el inserto 130 para transmitir a este último ondas ultrasónicas definidas en función de las señales de consigna de corriente y de voltaje suministradas por el generador de ultrasonidos.

La figura 2 es una vista en corte longitudinal que representa la estructura interna del transductor piezoeléctrico 220 dispuesto en la pieza de mano 200. Este transductor piezoeléctrico comprende en particular una parte proximal

230, una parte distal 232 y un motor piezoeléctrico 222 intercalado entre las partes distal y proximal. En el ejemplo considerado en la presente memoria, las partes proximal 230 y distal 232 corresponden respectivamente a una contramasa y a un amplificador. La contramasa 230 y el amplificador 232 están en apoyo mecánico contra el motor piezoeléctrico 222 de manera que este último quede mecánicamente restringido.

En este ejemplo, el motor piezoeléctrico 222 está constituido por unas cerámicas 224 piezoeléctricas de forma anular dispuestas unas contra otras bajo presión entre la contramasa 230 y el amplificador 232. Cada una de las cerámicas 224 está recubierta con un revestimiento eléctricamente conductor (bañado en plata, por ejemplo) y 7 placas anulares conductoras 226 están intercaladas entre las cerámicas 224 para conectar eléctricamente los cables de alimentación 228 con las cerámicas 224 piezoeléctricas. Cuando las cerámicas 224 del motor piezoeléctrico 222 se someten a una señal eléctrica transmitida por los cables 228 conectados al generador de ultrasonidos, generan vibraciones mecánicas en forma de ondas ultrasónicas. Estas ondas ultrasónicas se transmiten entonces a través de la parte distal 232 del transductor piezoeléctrico 220 hacia el inserto ultrasónico 130 (no representado en la figura 2) montado en el extremo libre 232a de la parte distal 232.

En este ejemplo, se dispone por otro lado un recubrimiento eléctricamente aislante 240 alrededor del motor piezoeléctrico 222 con el fin, en particular, de proteger y aislar los cables 228. Por otro lado, una varilla rígida pretensada 233 está dispuesta en el centro del transductor piezoeléctrico 220. Un elemento 235 eléctricamente aislante está dispuesto además entre la varilla pretensada 233 y el motor piezoeléctrico 222. Un conducto de irrigación 234 está además formado en el centro de la varilla pretensada 233 para poder hacer circular un líquido en la pieza de mano y suministrarlo a la salida del inserto 130.

De acuerdo con la invención, el aparato de tratamiento por ultrasonidos es además adecuado para medir la variación de impedancia y de amplitud de la señal ultrasónica en el transductor piezoeléctrico y para modificar las señales de consigna suministradas por el generador de ultrasonidos cuando la variación de impedancia de la señal ultrasónica excede un valor predeterminado de variación de impedancia y cuando la variación de frecuencia de la señal ultrasónica pasa por debajo o por encima de un valor predeterminado de variación de impedancia. Para ello, el aparato de tratamiento comprende un módulo de tratamiento de la amplitud de las señales de consigna configurado para realizar las operaciones mencionadas anteriormente. La figura 3 es un esquema funcional de un circuito electrónico de control 300 del generador de ultrasonidos equipado con un módulo de tratamiento de la amplitud de las señales de consigna de acuerdo con un modo de realización de la invención. El circuito de control 300 comprende un módulo de pilotaje de ultrasonidos 310 que está configurado para enviar al transductor 220 de la pieza de mano a través de los cables 228 unas señales de consigna de corriente y de voltaje S_{CIU} que definen la frecuencia y la amplitud de las ondas ultrasónicas producidas por el motor piezoeléctrico del transductor, siendo la velocidad de vibración del motor piezoeléctrico una función directa de la corriente eléctrica que circula por él mientras que la fuerza necesaria para esta vibración es una función directa del voltaje de alimentación. Las señales de consigna S_{CIU} se definen inicialmente en función del tipo de tratamiento a realizar. Las señales de consigna de corriente y de voltaje S_{CIU} se transmiten al transductor a través de un módulo magnético 330 que comprende un transformador (no representado en la figura 3). Las señales de consigna S_{COM} suministradas por el módulo de pilotaje de ultrasonidos 310 son transformadas por el módulo magnético en señales de consigna de corriente y de voltaje S_{CIU} . De acuerdo con la invención, el circuito electrónico de control 300 comprende además un módulo de control de amplitud de señales de consigna 320 que mide la variación de la frecuencia y de la impedancia de la señal ultrasónica en el transductor piezoeléctrico. Para ello, el módulo 320 recibe las señales I_{mes} y U_{mes} correspondientes respectivamente a la corriente y al voltaje en el transductor. La imagen de la corriente y del voltaje en el transductor 220 se obtiene midiendo el valor promedio de la corriente I_{inyec} y del voltaje U_{inyec} inyectadas en el transductor. Las señales inyectadas I_{inyec} y U_{inyec} se toman del primario del módulo magnético 330. Después de la puesta a escala y del filtrado de estas señales por unos módulos 331 y 332 respectivamente, las señales de medición de corriente y de voltaje se obtienen en el transductor I_{mes} y U_{mes} . La medición de la corriente y del voltaje en el transductor se puede realizar así sin tener que conectarlo al terminal del transductor, es decir, sin cableado suplementario en el aparato de ultrasonidos. La frecuencia y la impedancia de la señal ultrasónica en el transductor varían en función de la dureza del material en contacto con el inserto ultrasónico. La imagen de la frecuencia en el transductor 220 se obtiene a partir de las señales de consigna S_{COM} suministradas por el módulo de pilotaje de ultrasonidos 310. Después de la puesta a escala mediante un módulo 333, se obtiene una señal de medición de la frecuencia en el transductor F_{mes} .

El módulo 320 calcula la impedancia en el transductor a partir de las señales I_{mes} y U_{mes} . El módulo 320 también recibe la señal F_{mes} que corresponde a la frecuencia en el transductor. El módulo 320 puede así medir continuamente la impedancia y la frecuencia de la señal en el transductor y deducir un valor promedio durante un período determinado, por ejemplo cada 100 milisegundos. El módulo 320 calcula la variación de la impedancia y de la frecuencia a partir de dos medidas consecutivas.

Se describen ahora, en relación con la figura 4, las etapas del control de consignas por el módulo de control de amplitud de señales de consigna 320. Como se indicó anteriormente, el módulo 320 determina un valor promedio de medición de la impedancia y la frecuencia de la señal en el transductor durante un período determinado y calcula su variación entre dos valores promedio de medidas consecutivas (etapa S1). El módulo 320 compara la variación de la impedancia Δz calculada con un valor predeterminado de variación de impedancia Δz_{det} (etapa S2). Si la

variación de la impedancia calculada Δ_Z es menor que el valor predeterminado de variación de impedancia Δ_{Zdet} , el módulo 320 deja las señales de consigna sin cambios. Si la variación de la impedancia calculada Δ_Z es mayor que el valor predeterminado de variación de impedancia Δ_{Zdet} , el módulo 320 compara la variación de frecuencia calculada Δ_F con un valor predeterminado de variación de frecuencia Δ_{Fdet} (etapas S3 y S4). Más precisamente, el módulo 320 determina si la variación de frecuencia calculada Δ_F es mayor que el valor predeterminado de variación de frecuencia Δ_{Fdet} (etapa S3). Si este es el caso, el módulo 320 envía unas señales de control C_I y C_U al módulo de pilotaje de las señales de consigna 310 para que este último aumente la amplitud de la señal de consigna de corriente y de voltaje S_{CIU} suministrada al transductor 220 (etapa S5). En el caso contrario, el módulo 320 determina si la variación de frecuencia calculada Δ_F es menor que el valor predeterminado de variación de frecuencia Δ_{Fdet} (etapa S4). Si este es el caso, el módulo 320 envía señales de control C_I y C_U al módulo de pilotaje de señales de consigna 310 para que este último disminuya la amplitud de las señales de consigna de corriente y de voltaje S_{CIU} suministradas al transductor 220 (etapa S6). En el caso contrario, el módulo 320 deja las señales de consigna sin cambios. Las etapas S3 y S4 se pueden realizar en cualquier orden.

El aumento y la disminución de la amplitud de las señales de consigna se controlan durante un tiempo de control determinado, por ejemplo 415 milisegundos. Una vez superado el tiempo de control determinado se vuelve a la etapa S1.

La figura 5 es un gráfico que muestra las condiciones de control de la amplitud de las señales de consigna de corriente y de voltaje en función de la variación de la impedancia Δ_Z y de la frecuencia Δ_F de la señal ultrasónica en el transductor como se describe anteriormente.

El control de amplitud de las señales de consigna es aplicable a unas señales ultrasónicas de amplitud constante y unas señales ultrasónicas moduladas. En este último caso, la frecuencia de modulación es preferentemente mayor o igual a un valor determinado a fin de permitir la determinación de un valor promedio de medición de la impedancia y la frecuencia de la señal en el transductor. Por ejemplo, cuando el módulo 320 determina un valor promedio de medición durante un período de 100 milisegundos, la frecuencia de modulación de la señal ultrasónica es igual o mayor que 25 Hz.

A modo de ejemplo no limitativo, después de la experimentación, el valor predeterminado de variación de impedancia Δ_{Zdet} se puede fijar en 26 ohmios mientras que el valor predeterminado de variación de frecuencia Δ_{Fdet} se puede fijar en 12 Hz, y esto para una determinación de un valor promedio de medición de la impedancia y la frecuencia de la señal en el transductor cada 100 ms. Todavía a modo de ejemplo no limitativo, el aumento o la disminución de la amplitud de las señales de consigna se puede fijar en un 20 % del valor de consigna inicial, es decir, el parametrado en el aparato de tratamiento por ultrasonidos en función del tipo de tratamiento seleccionado. Los valores indicados anteriormente se determinaron para un aparato de tratamiento por ultrasonidos destinado a realizar tratamientos dentales. Estos valores pueden, por supuesto, ser diferentes en el caso de otros tipos de tratamientos quirúrgicos, como para cirugías maxilofaciales o cirugías ortopédicas.

La figura 6 ilustra un ejemplo de implementación del control de amplitud de las señales de consigna de la invención en un aparato de tratamiento dental por ultrasonidos, en este caso el aparato "Piezotome Solo" comercializado por la compañía SATELEC® y destinado a la cirugía preimplantacional. En la figura 6, la curva A representa la variación de impedancia Δ_Z medida en el transductor, la curva B representa la variación de frecuencia Δ_F medida en el transductor y la curva C representa el control aplicado a la amplitud de las señales de consigna en corriente y voltaje suministradas al transductor. Los aumentos de la amplitud de las señales de consigna corresponden a las partes de la curva C que se encuentran por encima del eje de abscisas. Las disminuciones de la amplitud de las señales de consigna corresponden a las partes de la curva C que se encuentran por debajo del eje de las abscisas. Las partes de la curva C que coinciden con el eje de las abscisas corresponden a los instantes en los que la amplitud de las señales de consigna no se modifica.

El módulo de control de amplitud de señales de consigna 320 se puede desactivar durante el parametraje del aparato de tratamiento por ultrasonidos.

REIVINDICACIONES

1. Aparato de tratamiento por ultrasonidos (100) que comprende por lo menos una pieza de mano quirúrgica (200), un inserto ultrasónico (130) y un generador de ultrasonidos (110), comprendiendo la pieza de mano un transductor piezoeléctrico (220) constituido por una parte distal (232) en la que está fijado el inserto ultrasónico (130) y un motor piezoeléctrico (222) conectado al generador de ultrasonidos (110) y acoplado mecánicamente con la parte distal (232), transmitiendo dicho motor piezoeléctrico al inserto unas ondas ultrasónicas definidas en función de señales de consigna de corriente y de voltaje (S_{CIU}) suministradas por el generador de ultrasonidos (110) al motor piezoeléctrico (222), comprendiendo además dicho aparato de tratamiento por ultrasonidos un módulo de control de amplitud de señales de consigna (320) configurado para:
 - calcular una variación de la frecuencia (Δ_F) y de la impedancia (Δ_Z) de una señal ultrasónica en el transductor piezoeléctrico,
 - comparar la variación de la impedancia de la señal ultrasónica con un valor predeterminado de variación de impedancia (Δ_{Zdet}),
 - comparar la variación de la frecuencia de la señal ultrasónica con un valor predeterminado de variación de frecuencia (Δ_{Fdet}),
 - aumentar la amplitud de las señales de consigna de corriente y de voltaje (S_{CIU}) suministradas por el generador de ultrasonidos (110) cuando la variación de la impedancia (Δ_Z) de la señal ultrasónica calculada es mayor que el valor predeterminado de variación de impedancia (Δ_{Zdet}) y cuando la variación de la frecuencia (Δ_F) de la señal ultrasónica calculada es mayor que el valor predeterminado de variación de frecuencia (Δ_{Fdet}), y
 - disminuir la amplitud de las señales de consigna de corriente y voltaje (S_{CIU}) suministradas por el generador de ultrasonidos cuando la variación de la impedancia (Δ_Z) de la señal ultrasónica calculada es mayor que el valor predeterminado de variación de impedancia (Δ_{Zdet}) y cuando la variación en la frecuencia (Δ_F) de la señal ultrasónica calculada es menor que el valor predeterminado de variación de frecuencia (Δ_{Fdet}).
2. Aparato según la reivindicación 1, en el que los valores promedio de la frecuencia y de la impedancia de la señal ultrasónica en el transductor piezoeléctrico (220) se miden cada 100 milisegundos.
3. Aparato según la reivindicación 2, en el que el valor predeterminado de variación de frecuencia (Δ_{Fdet}) es igual a 12 hercios.
4. Aparato según la reivindicación 2 o 3, en el que el valor predeterminado de variación de impedancia (Δ_{Zdet}) es igual a 26 ohmios.
5. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la amplitud de las señales de consigna de corriente y de voltaje (S_{CIU}) suministradas por el generador de ultrasonidos (110) aumenta en un 20 % cuando la variación de la frecuencia (Δ_F) de la señal ultrasónica calculada es mayor que el valor predeterminado de variación de frecuencia (Δ_{Fdet}) y cuando la variación de la impedancia (Δ_Z) de la señal ultrasónica calculada es mayor que el valor predeterminado de variación de impedancia (Δ_{Zdet}), y en el que la amplitud de las señales de consigna de corriente y de voltaje (S_{CIU}) suministradas por el generador de ultrasonidos de la consigna se reduce en un 20 % cuando la variación de la frecuencia (Δ_F) de la señal ultrasónica medida es menor que el valor predeterminado de variación de frecuencia (Δ_{Fdet}) y cuando la variación de la impedancia (Δ_Z) de la señal ultrasónica medida es mayor que el valor predeterminado de variación de impedancia (Δ_{Zdet}).

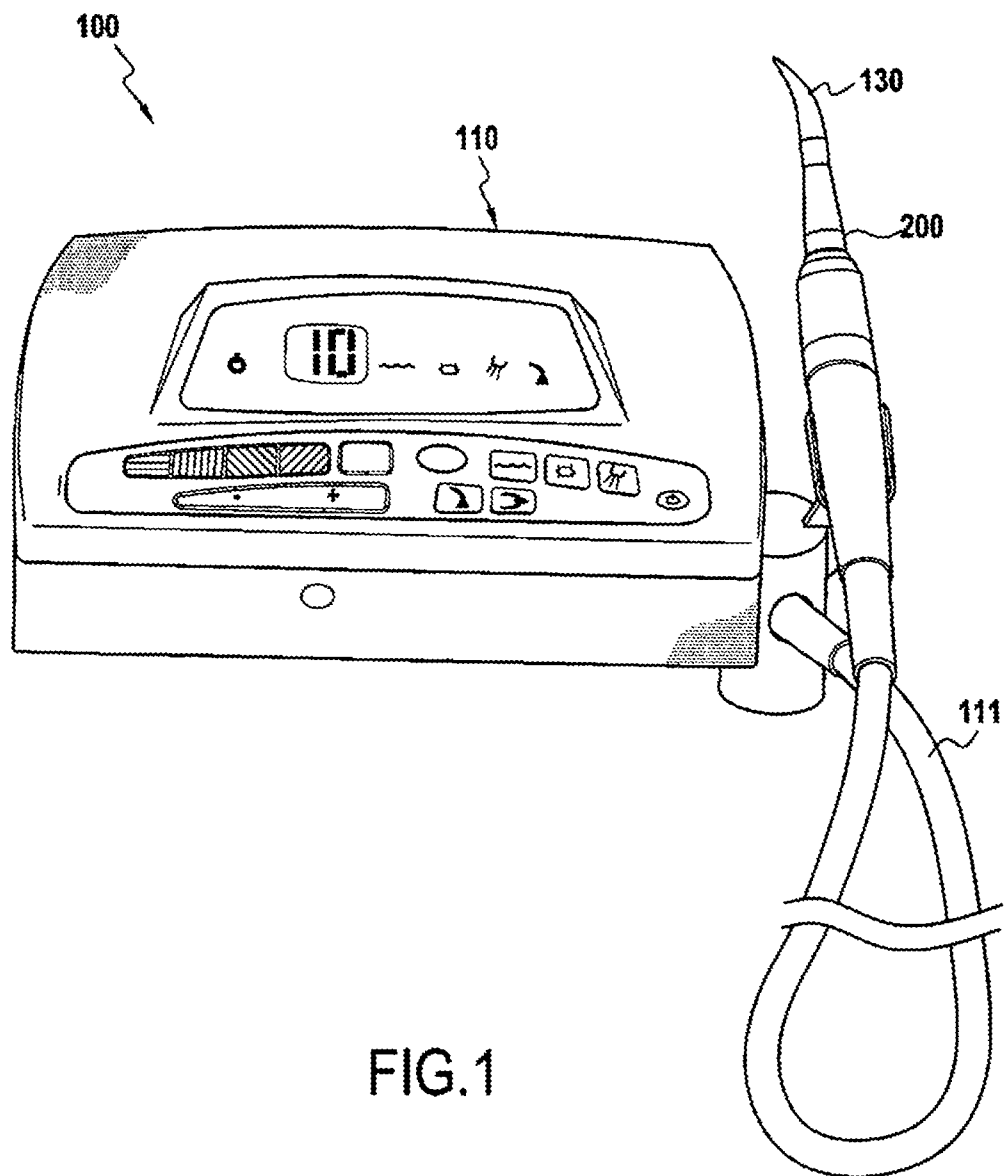


FIG.1

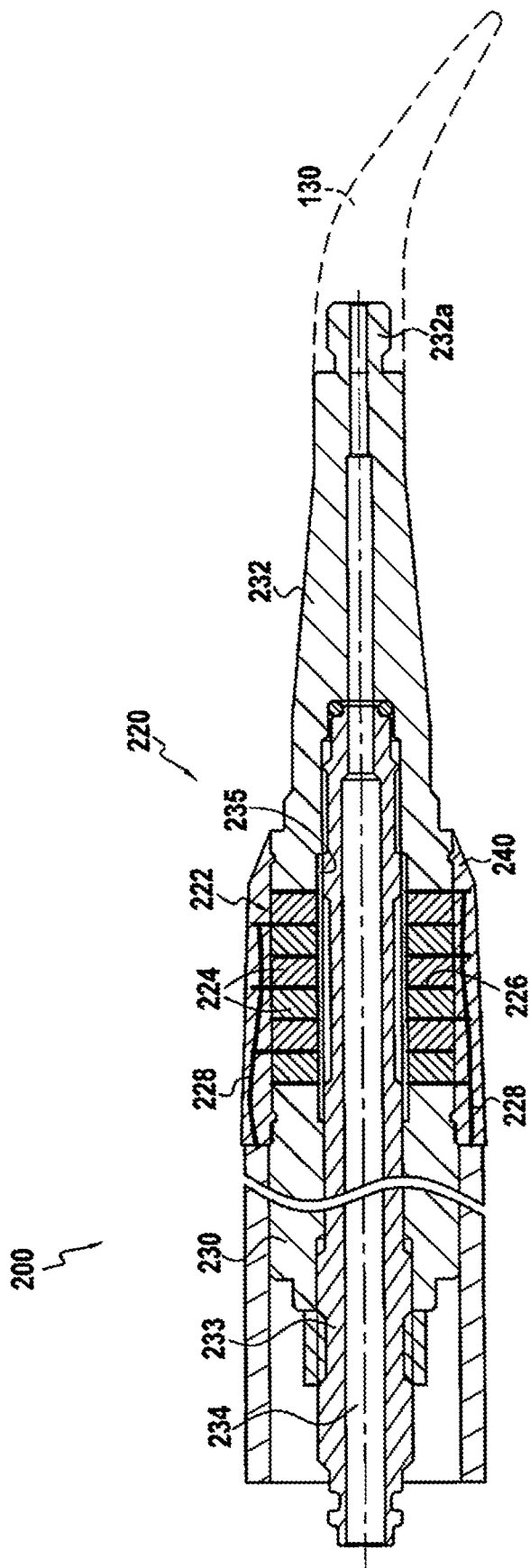


FIG.2

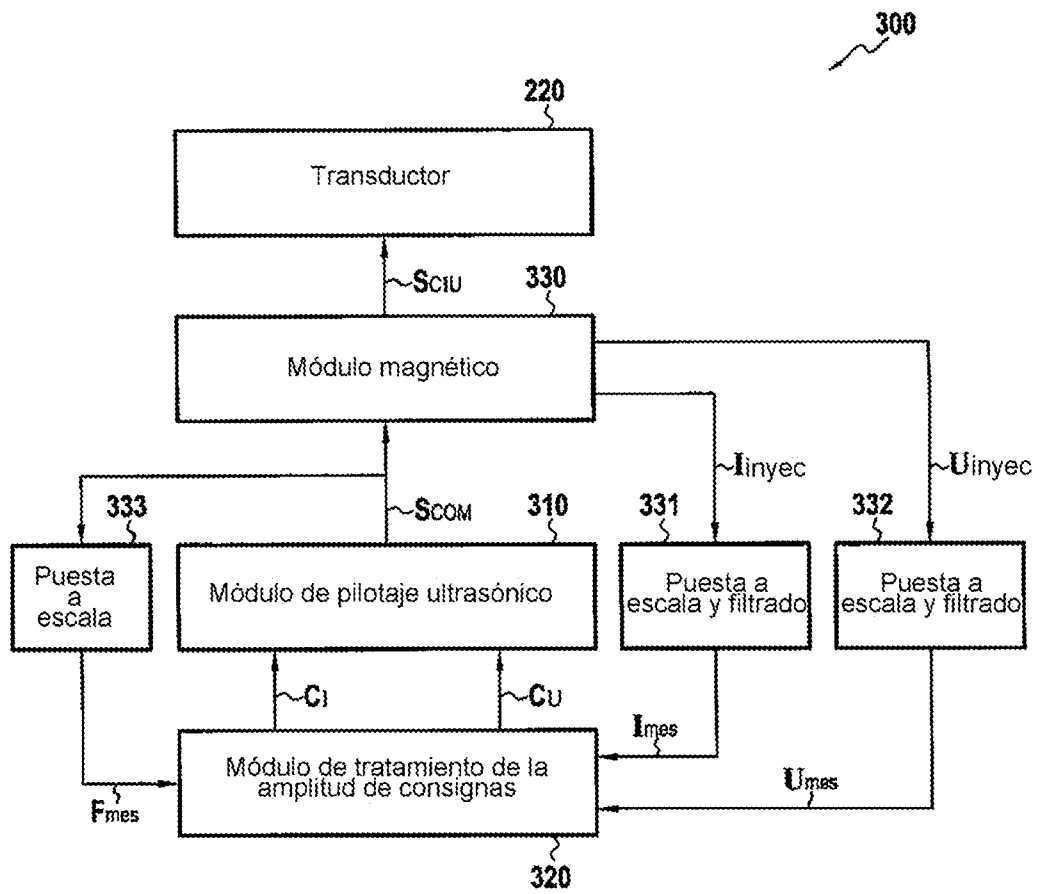


FIG.3

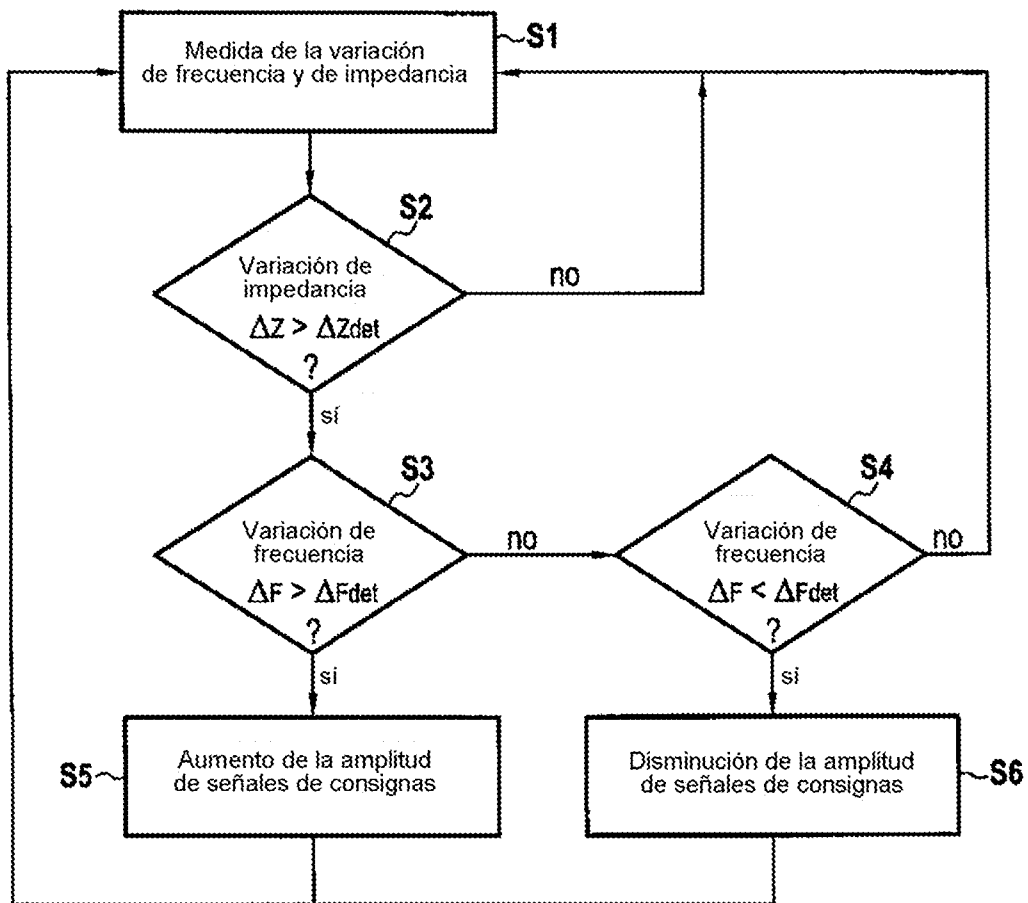


FIG.4

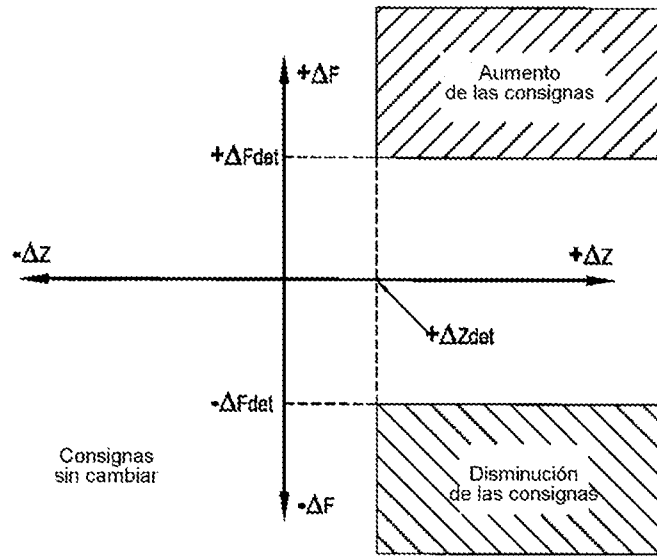


FIG.5

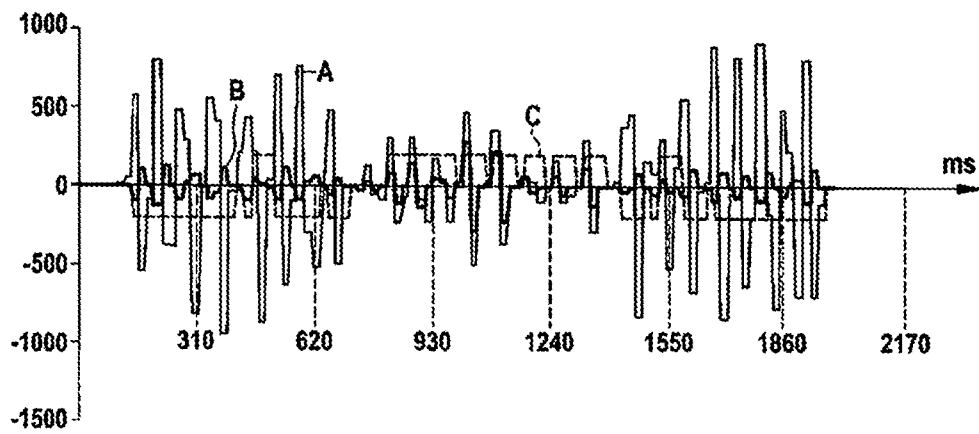


FIG.6