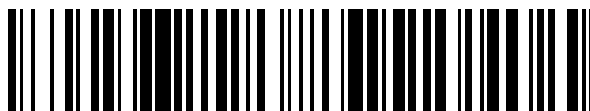


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 778 030**

51 Int. Cl.:

**H02M 1/088** (2006.01)  
**G01R 27/26** (2006.01)  
**G01R 31/12** (2010.01)  
**G01R 31/14** (2006.01)  
**H02M 3/335** (2006.01)  
**H02M 1/00** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.12.2013** **PCT/EP2013/003762**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.06.2014** **WO14095009**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.12.2013** **E 13814039 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.01.2020** **EP 2932282**

54 Título: **Disposición de circuito y procedimiento para generar una tensión de ensayo e instrumento de ensayo para determinar un factor de pérdidas que contiene la disposición de circuito**

30 Prioridad:

**17.12.2012 DE 102012024560**

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

**07.08.2020**

73 Titular/es:

**B2 ELECTRONICS GMBH (100.0%)**  
**Riedstrasse 1**  
**6833 Klaus, AT**

72 Inventor/es:

**BLANK, RUDOLF;**  
**FURXER, MICHAEL y**  
**BALDAUF, STEFAN**

74 Agente/Representante:

**RIERA BLANCO, Juan Carlos**

ES 2 778 030 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

Disposición de circuito y procedimiento para generar una tensión de ensayo e instrumento de ensayo para determinar un factor de pérdidas que contiene la disposición de circuito

La presente invención se refiere a una disposición de circuito para generar una tensión de ensayo para examinar un objeto de ensayo que comprende dos fuentes de alta tensión para generar una alta tensión positiva y una negativa de amplitud variable en sus respectivas salidas, una disposición de interruptores de alta tensión dispuesta entre las salidas de las dos fuentes de alta tensión y el objeto de ensayo, que se puede conmutar adecuadamente para la carga y descarga sucesivas del objeto de ensayo, donde está prevista además una regulación que mide la tensión de ensayo actual en el objeto de ensayo y actúa sobre la disposición de interruptores de alta tensión en función de la tensión de ensayo medida para la carga y descarga definidas del objeto de ensayo. Además, la presente invención se refiere a un instrumento de ensayo para determinar un factor de pérdidas, que contiene la disposición de circuito, y a un procedimiento para generar una tensión de ensayo para examinar un objeto de ensayo usando una disposición de circuito semejante.

Una disposición de circuito de este tipo se conoce, por ejemplo, por el documento DE 195 13 441 C5, donde allí las dos fuentes de alta tensión están formadas por dos ramas de amplificador, que presentan respectivamente una fuente de alimentación conmutada, un transformador de alta tensión y un circuito rectificador. Cada rama de amplificador está conectada en el lado de entrada a un (otro) circuito rectificador, que genera una tensión continua a partir de una tensión de red. Una disposición de circuito semejante se puede usar, por ejemplo, en el marco de la llamada medición del factor de pérdidas en cables de alta o media tensión y otros componentes eléctricos, en cuyo marco se determina el llamado factor de pérdidas ( $\tan(\delta)$ ) del objeto de ensayo mediante determinación de una tensión de ensayo situada en el rango de kV y en general sinusoidal de baja frecuencia (preferiblemente en el rango de 0,01 - 0,1 Hz) en el objeto de ensayo en cuestión bajo determinación y evaluación de la posición de fase de la tensión de ensayo y de la corriente de ensayo inducida por ella. Con "pérdida" en este caso se considera la energía que se pierde eléctrica o electromagnéticamente en el objeto de ensayo y, por ejemplo, se convierte en calor. El factor de pérdidas es una medida de esta pérdida.

Para una descripción más detallada del principio en el que se basa la medición del factor de pérdidas, a continuación se considera un condensador que está conectado a una fuente de tensión con un desarrollo de tensión sinusoidal. Como se sabe, en un condensador semejante se produce un desplazamiento de fase  $\phi$  entre la tensión de ensayo y la corriente de ensayo inducida por ella, que provoca la carga y descarga del condensador. Un condensador ideal, que no presenta pérdidas, genera un desplazamiento de fase entre la tensión y la corriente de  $\phi = 90^\circ$  con una tensión de ensayo sinusoidal. Si ahora se producen pérdidas en el condensador, entonces el desplazamiento de fase  $\phi$  entre tensión y corriente ya no es exactamente  $90^\circ$ , pero difiere de este valor ideal en el llamado ángulo de pérdidas  $\delta = (90^\circ - \phi)$ . El factor de pérdidas a determinar para un objeto de ensayo en el marco de la medición del factor de pérdidas ahora se define como  $\tan(\delta)$  y permite, en el caso de una desviación de los valores a esperar de manera realista, una afirmación sobre el grado de cualquier daño al objeto de ensayo o si el objeto de ensayo todavía se puede utilizar para la finalidad requerida.

Por ejemplo, para cables de alta y media tensión tendidos en el suelo con un aislamiento de VPE (VPE = polietileno reticulado; XLPE = polietileno reticulado de cadena cruzada), que también están expuestos a efectos de envejecimiento, como por ejemplo el llamado efecto "árbol de agua", está descrito anteriormente según los criterios de ensayo habituales que su factor de pérdidas ( $\tan \delta$ ) no puede o no debe exceder un valor de aproximadamente  $1 \cdot 10^{-3}$  (véase, por ejemplo, Manual de cables, 8ª edición, Mario Kliesch y Dr. Frank Merschel, ed. Rolf Rüdiger Cichowski, EW Medien und Kongresse GmbH).

A este respecto, los instrumentos de ensayo con un circuito de medición para la medición del factor de pérdidas se sirven de manera habitual de medios adecuados para la medición con resolución temporal de la tensión de ensayo y la corriente de ensayo, así como una evaluación matemática posterior de los datos de medición obtenidos en la medición de la tensión de ensayo y la corriente de ensayo, en la que en principio usando la transformada de Fourier (discreta) se determina la longitud de onda de la tensión de ensayo y la corriente de ensayo y luego, usando algoritmos de aproximación comunes y adecuados, se determina la posición de fase más o menos exacta de la curva de corriente y tensión y a partir de esto el desplazamiento de fase respectivo y el factor de pérdidas. Para lograr una precisión de medición lo más elevada posible o la requerida para el caso de aplicación específico, la determinación de la posición de fase de la tensión de ensayo y la corriente de ensayo con la mayor precisión posible es un criterio decisivo. Dado que la amplitud de la corriente de ensayo también es correspondientemente baja en el caso de una muy baja capacidad del objeto de ensayo, para un instrumento de ensayo establecido para la medición del factor de pérdida se produce una limitación del rango de medición que depende de la capacidad del objeto de ensayo y la amplitud de tensión de ensayo seleccionada con vistas a la determinación del factor de pérdidas a realizar con la exactitud de medición predeterminada. Esta limitación del rango de medición está fundamentada en el hecho de que con amplitudes muy bajas de la corriente de ensayo, la determinación exacta de su posición de fase ya no puede realizarse con la precisión de medición requerida.

Con los instrumentos de ensayo actualmente conocidos por el estado de la técnica, que presentan una disposición de circuito del tipo mencionado al inicio con electrónica integrada de medición y evaluación para determinar el factor

de pérdidas, el factor de pérdidas ( $\tan \delta$ ) de un objeto de ensayo se puede determinar con capacidades del objeto de ensayo mayores o iguales a 15 nF usando tensiones de medición habituales en el rango de aproximadamente 3kV a 20kV (tensión efectiva) con una precisión de medición de aproximadamente  $\pm 1 \cdot 10^{-4}$ , mientras que el factor de pérdidas a capacidades inferiores ya no se puede determinar con la precisión mencionada.

- 5 Ya ha habido distintos enfoques en el estado de la técnica para generar la tensión de ensayo preferentemente sinusoidal de baja frecuencia en el rango de kV, que a menudo también se usa en el marco de un llamado ensayo de cables VLF (muy baja frecuencia).

En una variante propuesta en principio para generar una tensión de ensayo de baja frecuencia (véase S.J. Kearly, R.R. Mackinlay: "Discharge measurements in cables using a solid state 30 kV bipolar low frequency generator", Fifth International Conference on Dielectric Materials, Measurements and Applications, 1988, páginas 171-174), por 10 medio de una fuente de tensión se proporciona una tensión continua de  $\pm 30$  kV, con el cual el objeto de ensayo a probar se carga y descarga de manera definida utilizando una disposición de interruptores de alta tensión que funciona como una fuente de corriente controlable ("controllable current source"). Dado que allí siempre se aplica una tensión continua en el orden de magnitud de  $\pm 30$  kV en las entradas de la disposición de interruptores de alta 15 tensión, configurada como circuito en cascada y regulada en función de la tensión de ensayo, dicha disposición de circuito está asociada con pérdidas eléctricas no despreciables y una generación de calor correspondiente, de modo que no es posible o apenas es posible su uso en un instrumento de ensayo o diagnóstico lo más compacto posible con electrónica integrada de medición y evaluación para la medición del factor de pérdidas.

Se conoce otra disposición de circuito para generar una tensión de ensayo para las finalidades de uso relevantes en 20 cuestión, según se ha mencionado ya en la introducción, por el documento DE 195 13 441 C5. A este respecto, con el fin de proporcionar una disposición de circuito con eficiencia mejorada y para generar tensiones de ensayo de formas de curva distintas y preprogramables, se prescinde de la provisión de una tensión continua no regulada. En cambio, la tensión de ensayo se genera en el sentido genérico en tanto que en primer lugar por medio de un circuito rectificador (a conectar a la red de alimentación externa) se genera una tensión continua (de amplitud variable) a 25 partir de la tensión de red, que luego, en dos ramas de amplificadores que funcionan como fuentes de alta tensión, con cada vez una fuente de alimentación conmutada, un transformador de alta tensión y otro circuito rectificador, se transforma en respectivamente una alta tensión de amplitud variable, con la cual el objeto de ensayo se puede cargar y descargar de manera definida, a través de un interruptor electrónico de alta tensión o una disposición de interruptores de alta tensión regulable en función de la tensión en el objeto de ensayo. A este respecto, la primera 30 rama de amplificador se usa para proporcionar una alta tensión de signo positivo en su salida, mientras que se genera una alta tensión de signo negativo en la salida de la segunda rama de amplificador.

Además de las características mencionadas anteriormente y también genéricas para la presente invención, está previsto además que por medio de la regulación que actúa sobre el interruptor de alta tensión o la disposición de interruptores de alta tensión, al mismo tiempo también en función de la tensión (de ensayo) medida en el objeto de ensayo por medio de un divisor de tensión se actúa sobre las dos fuentes de alimentación conmutadas, de modo 35 que la alta tensión que funciona en cierto sentido como una curva envolvente para la tensión de ensayo real en las salidas de las dos ramas de amplificador (o fuentes de alta tensión) se varía en función de la tensión de ensayo con el fin de minimizar la pérdida de potencia y/o el ajuste deseado de diferentes formas de curva. Con esta disposición de circuito, la pérdida de potencia se pudo reducir significativamente en comparación con el estado de la técnica explicado más arriba, lo que permite el uso de disposiciones de circuito genéricas en los instrumentos de ensayo compactos con determinación integrada del factor de pérdidas. Sin embargo, como se explicará con más detalle a continuación y solo se ha encontrado en el marco de la presente invención, la acción sobre las fuentes de alimentación conmutadas prevista según el documento DE 195 13 441 C5, sin embargo, genera armónicos no 40 deseados en la tensión de ensayo y en particular la corriente de ensayo que, en el caso de un instrumento de ensayo establecido para medir el factor de pérdidas, provocan una limitación (clara y no insignificante respecto a otras fuentes de perturbación de un instrumento semejante) de la precisión de la medición.

Otras disposiciones y procedimientos de circuito para generar una tensión de ensayo o instrumentos de ensayo equipados con ellos se conocen a partir del documento de empresa no datado "Mobile Testing & Diagnostics: frida with TD, PD-Portable", Sulz, Austria, páginas 1-37 de Baur Prüf- und Messtechnik GmbH y la hoja de datos "Baur Hochspannungsprüf- und Diagnosegerät - frida, frida TD" con fecha del 15 de marzo de 2013, Sulz, Austria, páginas 1-2 de Baur Prüf- und Messtechnik. Además, el artículo CAO, Zhiyu [et al.]: "Modeling and Control Design for a Very-Low-Frequency High-Voltage Test System", IEEE transactions on power electronics, Vol. 25, No. 4, abril de 2010, 50 páginas 1068-1077 también describe una disposición de circuito genérica y un procedimiento para generar una tensión de ensayo VLF, donde allí la corriente de ensayo a generar en el lado de salida de la disposición de circuito se ajusta bajo la regulación de la frecuencia ("frequency f") y el ciclo de trabajo ("duty cycle d") de un generador de pulsos, que a su vez actúa sobre las fuentes de alta tensión que generan la tensión de ensayo ("Power Supply Block"). 55

Ante estos antecedentes el objetivo de la presente invención es desarrollar aún más una disposición de circuito y un procedimiento para generar una tensión de ensayo del tipo mencionado al principio, de modo que sean apropiados 60 para generar una tensión de ensayo con la menor perturbación posible y una corriente de ensayo con la menor perturbación posible y para usar en un instrumento de ensayo lo más compacto posible y con medición del factor de

pérdidas muy precisa.

La disposición de circuito según la invención se destaca además de las características mencionadas en la introducción en que la regulación prevista según la invención no actúa sobre las dos fuentes de alta tensión y que está previsto un control separado para las dos fuentes de alta tensión, donde dicho control genera una señal de reloj que independiente de la tensión en el objeto de ensayo, de modo que por las fuentes de alta tensión se proporciona una tensión alterna sincronizada, predefinida y no influenciada por la regulación.

A este respecto, en una configuración ventajosa de la invención, puede estar previsto que las dos fuentes de alta tensión estén formadas por dos ramas de amplificador, que presentan respectivamente una fuente de alimentación conmutada, un transformador de alta tensión y un circuito rectificador, donde cada rama de amplificador está conectada en el lado de entrada a un circuito rectificador que genera una tensión continua a partir de una tensión de red.

En otras palabras, en la presente invención está previsto que la tensión proporcionada por las dos fuentes de alta tensión (o por las fuentes de alimentación conmutadas de las dos ramas de amplificadores y posteriormente amplificadas) se controla completamente independientemente de la tensión de ensayo aplicada al objeto de ensayo. En lugar de una regulación que actúa sobre las fuentes de alta tensión o sobre las fuentes de alimentación conmutadas previstas en aquí se usa una señal de reloj generada por la regulación según la invención para excitar las dos fuentes de alta tensión o fuentes de alimentación conmutadas con la mayor precisión posible, señal con cuya ayuda las dos fuentes de alta tensión pueden proporcionar una alta tensión, sincronizada mediante la señal de reloj y predefinida con precisión (en su forma de curva y posición de fase), de amplitud variable.

En el marco de la presente invención se ha observado que las intervenciones de control previstas en el estado de la técnica en las fuentes de alimentación conmutadas provocan interferencias indeseables (en forma de armónicos en el espectro de frecuencia) en la tensión alterna proporcionado por la fuente de alimentación conmutada respectiva, que posteriormente se amplifican en la rama de amplificador en cuestión. El resultado son componentes armónicos indeseables en la tensión de ensayo, que a su vez causan perturbaciones correspondientes en forma de ruido en la corriente de ensayo. Este ruido en la corriente de ensayo menoscaba la precisión requerida para la medición del factor de pérdidas de alta precisión al determinar la posición de fase de la corriente de ensayo, lo que es particularmente perceptible en la medición del factor de pérdidas en objetos de ensayo con capacidades muy bajas (y, en consecuencia, corrientes de ensayo bajas).

Por el contrario, con la presente invención, se puede evitar la aparición de los armónicos mencionados anteriormente en la tensión de ensayo y, en particular, también en la corriente de ensayo, por lo que su posición de fase, en particular cuando se generan curvas de corriente y tensión sinusoidales con la mayor precisión posible, y por lo tanto también se puede determinar el factor de pérdidas con una mejor precisión de medición, lo que es particularmente perceptible en el caso de objetos de ensayo con baja capacidad y, en consecuencia, amplitudes de corriente de ensayo bajas.

En el marco de un perfeccionamiento de la presente invención está previsto de una manera particularmente conveniente que las fuentes de alimentación conmutadas estén establecidas para generar una tensión alterna sinusoidal, donde el ángulo de fase de la tensión alterna sinusoidal está predeterminado por la señal de reloj. Por consiguiente se puede proporcionar la media onda positiva o negativa de una tensión alterna sinusoidal particularmente precisa en la salida respectiva de las dos ramas de amplificador.

Además, en un perfeccionamiento preferido de la invención, puede estar previsto que (mediante una configuración o programación adecuada de la regulación) la tensión de ensayo y la corriente de ensayo resultante de ella, con la que se realiza la carga y descarga definidas del objeto de ensayo también sean sinusoidales y, particularmente preferiblemente, estén casi exentas de armónicos. En una evaluación posterior de los datos de medición (por ejemplo, en el marco de la determinación del factor de pérdidas de un objeto de ensayo), esto permite una determinación particularmente exacta de la posición de fase respectiva de la tensión de ensayo y la corriente de ensayo y, por lo tanto, aumenta la precisión de la medición de la electrónica de medición y evaluación aguas abajo de la disposición de circuito según la invención para determinar el factor de pérdidas de un objeto de ensayo.

El componente armónico en relación con la onda fundamental se puede especificar matemáticamente en forma de la llamada "distorsión armónica total": "total harmonic distortion"), lo que representa la relación de los cuadrados sumados de las amplitudes efectivas de todos los armónicos respecto al cuadrado de amplitud (efectiva) de la oscilación fundamental. Las mediciones dirigidas del contenido armónico de las tensiones de ensayo y las corrientes de ensayo que se pueden lograr según la invención han demostrado que cuando se usa una disposición de circuito según la invención, se pueden lograr tensiones de ensayo casi sin armónicos con valores de THD menores o iguales a 0,1% y corrientes de ensayo casi sin armónicos con valores de THD menores o iguales a 5%. En comparación con la disposición de circuito conocida por el estado de la técnica, con intervenciones de regulación previstas allí sobre las fuentes de alimentación conmutadas, el contenido armónico en la tensión de ensayo casi se podría reducir a una décima parte (es decir, mejorar en un factor de 10) y el contenido armónico en la corriente de ensayo casi reducirse a la mitad, con dispositivos por lo demás idénticos.

Ante estos antecedentes, la presente invención se refiere no solo a una disposición de circuito del tipo descrito anteriormente, sino también de manera ventajosa a un instrumento de ensayo que contiene una disposición de circuito según la invención, una conexión para la tensión de red y una conexión para el objeto de ensayo, donde el instrumento de ensayo según la invención está caracterizado además porque que presenta una electrónica integrada de medición y evaluación para determinar el factor de pérdidas (llamada medición tangente-delta).

La generación de la tensión de ensayo que se realiza por medio de una disposición de circuito según la invención sin intervención de regulación sobre las fuentes de alimentación conmutadas no solo aumenta la precisión de medición de dicho instrumento de ensayo en comparación con el estado de la técnica, sino que también extiende el rango de medición que puede cubrirse con una precisión de medición dada.

Mientras que las disposiciones de circuito conocidas por el estado de la técnica (con regulación sobre las dos fuentes de alimentación conmutadas) para la instalación en instrumentos de ensayo compactos del tipo descrito anteriormente, al determinar el factor de pérdida, mantienen una precisión de medición de  $\pm 1 \cdot 10^{-4}$  generalmente solo para cargas capacitivas mayores o iguales a 10 - 15 nF, en el marco de la presente invención con un instrumento de ensayo por lo demás idéntico se amplía su rango de medición, en tanto que se mantienen la misma precisión de medición para capacidades mayores o iguales a 2 nF o incluso mayores o iguales a 1 nF, es decir, a través de un rango (usual) de tensión de ensayo de 3 kV a 20 kV.

Por lo tanto, esto tiene importancia en particular porque los cables de media tensión o alta tensión a medir típicamente con disposiciones de circuito según la invención presentan capacidades de aproximadamente 0,2 nF por metro de longitud de cable. Con un instrumento de ensayo según la invención, ya se pueden medir cables de alta tensión con una longitud de aproximadamente 10 metros o más, mientras que cuando se usa la disposición de circuito conocida por el estado de la técnica, solo los cables con una longitud mínima de 50 metros podrían medirse con la precisión requerida.

En este punto se menciona que las precisiones de medición correspondientes o incluso mejores en el marco de la medición del factor de pérdidas también se pueden lograr ya con otros tipos de instrumentos de ensayo, en los que sin embargo siempre se usan un generador de tensión de ensayo (VLF) y un dispositivo de medición externo adicional para determinar el factor de pérdidas con medios integrados en él para la medición de alta precisión de la corriente de ensayo y la tensión de ensayo.

Sin embargo, en un instrumento de ensayo según la invención con una disposición de circuito según la invención y electrónica integrada de medición y evaluación para la medición del factor de pérdidas, en contraste con los dispositivos de medición externos para determinar el factor de pérdidas, la corriente a medir se debe guiar a través de una conexión a tierra de protección o una conexión de guarda, es decir, un potencial de tierra de protección generado electrónicamente en una línea de medición adicional, lo que en comparación con los dispositivos de medición del factor de pérdidas separados de la fuente de tensión de ensayo conduce inevitablemente a perturbaciones o armónicos no presente allí en la corriente de ensayo, que en el estado de la técnica se agregaron a las perturbaciones generadas por la intervención de regulación en las fuentes de alimentación conmutadas y habría menoscabado su precisión de medición en el sentido ya explicado.

Al usar la disposición de circuito según la invención en un instrumento de ensayo con medición integrada tangente-delta, la precisión de medición explicada anteriormente ahora se puede mantener por primera vez en tales instrumentos de ensayo.

Finalmente, la presente invención también se refiere a un procedimiento para generar una tensión de ensayo para examinar un objeto de ensayo, que comprende los siguientes pasos:

(A) generación de una primera alta tensión con signo positivo y amplitud variable en la salida de una primera fuente de alta tensión y una segunda alta tensión con signo negativo y amplitud variable en la salida de una segunda fuente de alta tensión

(B) carga y descarga sucesivas del objeto de ensayo mediante la conmutación adecuada de una disposición de interruptores de alta tensión dispuesta entre las salidas de las fuentes de alta tensión y el objeto de ensayo, donde está previsto un control, que mide la tensión en el objeto de ensayo y actúa sobre la disposición de interruptores de alta tensión en función de la tensión medida para la carga y descarga definidas del objeto de ensayo.

A este respecto, según la invención está previsto que la regulación prevista según la invención no actúe sobre las dos fuentes de alta tensión y que un control separado no actúa sobre las dos fuentes de alta tensión, donde el control genera una señal de reloj que independiente de la tensión en el objeto de ensayo, de modo que por las fuentes de alta tensión se proporciona una alta tensión sincronizada, predefinida y no influenciada por la regulación.

Para el procedimiento según la invención, que en el marco de la invención se puede complementar ventajosamente con un paso adicional del procedimiento para determinar el factor de pérdidas (del modo y manera descrito más arriba) del objeto de ensayo, evidentemente se aplican las mismas ventajas y configuraciones preferidas que ya se han descrito con la disposición de circuito según la invención y el instrumento de ensayo según la invención, de

modo que se hace referencia a las declaraciones anteriores a este respecto.

A continuación están explicadas más en detalle distintos ejemplos de realización de la presente invención. En este sentido muestra:

- |    |              |   |
|----|--------------|---|
| 5  | Fig. 1       | un diagrama de circuito de un primer ejemplo de realización de una disposición de circuito según la invención,  |
|    | Fig. 2       | un diagrama de circuito para un segundo ejemplo de realización de una disposición de circuito según la invención,   |
|    | Fig. 3a y 3b | una representación esquemática para generar tensión de ensayo y corriente de ensayo según el estado de la técnica y la presente invención,                              |
| 10 | Fig. 4a y 4b | los resultados de medición para el desarrollo de la tensión de ensayo y la corriente de ensayo usando una disposición de circuito conocida por el estado de la técnica, |
|    | Fig. 5a y 5b | resultados de medición para el desarrollo de la tensión de ensayo y la corriente de ensayo usando una disposición de circuito según la invención y                      |
| 15 | Fig. 6       | una vista esquemática de un ejemplo de realización de un instrumento de ensayo según la invención.  |

El diagrama de circuito representado en la Fig. 1 muestra un primer ejemplo de realización de una disposición de circuito 1 según la invención para generar una tensión de ensayo para el examen de un objeto de ensayo 2 a conectar a la disposición de circuito 1, aquí un cable de alta o media tensión representado esquemáticamente. La disposición de circuito 1 comprende dos fuentes de alta tensión 3, 4, que están establecidas para proporcionar un alta tensión positiva (+) o negativa (-) de amplitud variable en sus respectivas salidas 5, 6. Entre las salidas 5, 6 de las dos fuentes de alta tensión 3, 4 y el objeto de ensayo 2 a conectar a la disposición de circuito 1 está previsto una disposición de interruptores de alta tensión 7, sobre la que se actúa por medio de una regulación 8 para la carga y descarga definidas del objeto de ensayo 2, que representa una cierta carga capacitiva. La regulación 8 está conectado a través de la línea 9 al potencial de tensión aplicado en el objeto de ensayo 2 y está establecida para medir la tensión de ensayo allí aplicada con el fin de tener esto en cuenta en el marco de la regulación de la curva de tensión deseada, a predeterminedar por el control 8, que preferiblemente es sinusoidal. La tensión de ensayo obviamente solo puede estar dentro del rango de tensión especificado por las dos fuentes de alta tensión 3, 4, donde la alta tensión ventajosamente predeterminedada sinusoidalmente por las dos fuentes de alta tensión 3, 4 siempre se sitúa algo por encima de la tensión de ensayo tomada por la disposición de interruptores de alta tensión 7, a fin de tener cierto margen de juego para compensar los cambios de carga, por ejemplo, causados por las intervenciones de regulación.

En el presente caso, la disposición de interruptores de alta tensión 7 comprende dos cascadas de interruptor semiconductor 10, 11, que actúan como fuentes de corriente controladas por tensión según el símbolo del circuito seleccionado y se retroalimentan a través de un amplificador 12, 13, sobre el que actúa la regulación 8, como también se explicó en la publicación citada ya anteriormente más arriba (S.J. Kearly, R.R. Mackinlay: "Discharge measurements in cables using a solid state 30 kV bipolar low frequency generator", Fifth International Conference on Dielectric Materials, Measurements and Applications, 1988, páginas. 171-174). Tales disposiciones de interruptores semiconductores (por ejemplo, basadas en transistores o FET) que funcionan como fuentes de corriente controladas (por tensión) son suficientemente conocidas por el estado de la técnica (véase, por ejemplo, U. Tietze, Ch. Schenk, Halbleiter-Schaltungstechnik, 12ª edición, capítulo 12.3, Springer-Verlag).

Las dos fuentes de alta tensión 3, 4 no están excitadas por la regulación 8, sino por un control separado 14, donde el control 14 comprende un generador de señal de reloj 15 que, a través de las líneas 16, 17, suministra a las dos fuentes de alta tensión controlables 3, 4 una señal de reloj T que se tiene en cuenta al generar la alta tensión, de tal manera que las dos fuentes de alta tensión 3, 4 pueden proporcionar respectivamente una alta tensión sincronizada por medio de la señal de reloj T, predeterminedable de manera definida en la forma de curva y amplitud, en particular sinusoidal y no está influenciada por la regulación 8.

El temporizador 15 necesario para ello puede estar realizado, por ejemplo, digitalmente a base de cuarzo o mecánicamente a la manera de un motor paso a paso y puede estar establecido para generar una señal de reloj suficientemente precisa T, por ejemplo, con tasas de repetición en el rango  $\mu s$ .

La Fig. 2 muestra un segundo ejemplo de realización de una disposición de circuito según la invención para generar una tensión de ensayo para el examen de un objeto de ensayo 2 a conectar a la disposición de circuito 1 con propiedades capacitivas, donde los componentes de la disposición de circuito de la Fig. 2 que son funcional o estructuralmente idénticos con el propósito de una explicación simplificada de la presente invención se han designado con los mismos números de referencia que en la disposición de circuito de la Fig. 1, para cuya descripción se puede hacer referencia en las explicaciones anteriores.

La particularidad de la disposición de circuito de la Fig. 2 consiste en que aquí las dos fuentes de alta tensión 3, 4 están formadas por cada vez una rama de amplificador 18, 19, donde cada rama de amplificador 18, 19 está conectada en el lado de entrada a un circuito rectificador 20 que genera una tensión continua a partir de una tensión de red (amplitud variable). Cada rama de amplificador 18, 19 comprende una fuente de alimentación conmutada 21, 22 (dispuesta en el lado de entrada) para generar una tensión alterna predeterminable, en particular sinusoidal, un transformador de alta tensión 23, 24 para amplificar la tensión alterna generado por la respectiva fuente de alimentación conmutada 21, 22 y un circuito rectificador 23, 24 (dispuesto en el lado de salida), con lo que se garantiza que siempre esté prevista una alta tensión de signo positivo en la salida 5 de la primera rama de amplificador 18 y siempre esté prevista una alta tensión de signo negativo en la salida 6 de la segunda rama de amplificador 19.

El diagrama de circuito del segundo ejemplo de realización de una disposición de circuito 1 según la invención según la Fig. 2 muestra además que la disposición de interruptores de alta tensión 7 dispuesta entre las salidas 5, 6 de las dos ramas de amplificador 18, 19 que funcionan como fuentes de alta tensión 3, 4 y el dispositivo bajo ensayo 2 puede estar diseñada por dos cascadas de interruptores semiconductores 10, 11, sobre los que actúa la regulación 8 apropiadamente. Además, en el ejemplo de realización de la Fig. 2, la tensión de ensayo aplicada al objeto de ensayo 2 y medida por la regulación 8 por medio de un dispositivo de medición adecuado se toma a través de un divisor de tensión 27.

Y finalmente, en el ejemplo de realización según la Fig. 2, la flecha 28 representada a trazos indica que el control 14 también puede transmitir información (por ejemplo, sobre la señal de reloj T generada por el control 14 o el generador de señal de reloj 15) a la regulación 8 (sin embargo no a la inversa), lo que se puede tener en cuenta al actuar sobre la disposición de interruptores de alta tensión 7.

Dado que la alta tensión generada en las dos fuentes de alta tensión 3, 4 o por medio de las fuentes de alimentación conmutadas 21, 22 con posterior amplificación de alta tensión se controla por el control 14 y la señal de reloj T generada por él, y la generación de alta tensión tiene lugar sin ninguna otra intervención reguladora, con las fuentes de alta tensión 3, 4 de la disposición de circuito 1 según la invención, se puede generar en particular un desarrollo especialmente "suave", es decir, sin arista (y ventajosamente sinusoidal) del perfil de tensión respectivo.

Las curvas esquemáticas de tensión y corriente de las Fig. 3a y 3b ilustran el efecto que se puede lograr con la presente invención.

La representación esquemática de la Fig. 3a ilustra los desarrollos de tensión y corriente generados con una disposición de circuito conocida por el estado de la técnica con intervenciones de regulación en las fuentes de alta tensión, en las que las altas tensiones  $U_1'$ ,  $U_2'$  proporcionadas en la salida de dos ramas de amplificador están caracterizadas por un desarrollo de tensión que presenta aristas con intervenciones de regulación. A partir de estas dos altas tensiones  $U_1'$ ,  $U_2'$ , que en cierta medida forman una curva envolvente para la tensión de ensayo  $U_P'$ , se puede generar un desarrollo en gran parte sinusoidal de la tensión de ensayo  $U_P'$  por medio de la regulación adecuada de la disposición de interruptores semiconductores del lado de alta tensión. Sin embargo, las aristas presentes en las curvas envolventes de tensión y los cambios de carga asociados en la disposición de circuito, como otras intervenciones de regulación sobre las fuentes de alta tensión, provocan en la corriente de ensayo idealmente sinusoidal  $I_P'$  las perturbaciones 29, 30, 31 mostradas esquemáticamente en la Fig. 3a en forma de armónicos o ruido, lo que en última instancia influye de forma desventajosa en la precisión de una determinación de la posición de fase exacta de la corriente de ensayo  $I_P'$  que puede requerirse en un proceso de medición posterior, en particular en el caso de amplitudes de corriente muy bajas.

En contraste, en el marco de la presente invención, como está representado esquemáticamente en la Fig. 3b, usando una disposición de circuito según la invención, por medio de las dos fuentes de alta tensión sincronizadas por una señal de reloj del control y no cargadas por las intervenciones de regulación pueden generar altas tensiones sinusoidales y sin aristas  $U_1$ ,  $U_2$  de forma particularmente precisa, a partir de las que se generan una tensión de ensayo especialmente sinusoidal y casi sin armónicos  $U_P$  - y, en consecuencia, una corriente de ensayo casi sin armónicos  $I_P$  por medio de la disposición de interruptores de alta tensión, lo que aumenta significativamente la precisión de medición de un instrumento de medición que presenta una disposición de circuito con medición integrada de factor de pérdidas, como ya se ha hecho fue explicado más arriba.

Las Fig. 4a, 4b y 5a, 5b finalmente muestran resultados de medición reales para mediciones comparativas de la tensión de ensayo y la corriente de ensayo en una disposición de ensayo, en la que, en el caso de instrumentos por lo demás absolutamente idénticos, inicialmente se ha usado una disposición de circuito conocida por el estado de la técnica con regulación de retroalimentación a las fuentes de alimentación conmutadas de las dos ramas de amplificador (véanse las Fig. 4a y 4b) y luego se usó una disposición de circuito según la invención según la Fig. 2 (véanse las Fig. 5a y 5b).

El desarrollo de la tensión de ensayo  $U_P$  representada en la Fig. 4a, que se ha logrado con una disposición de circuito conocida por el estado de la técnica, muestra un desarrollo sinusoidal con armónicos apenas reconocibles, que presenta un valor THD (distorsión armónica total) que representa el componente armónico de 0,0081. Por el contrario, en el desarrollo de la corriente de ensayo  $I_P$  generada aquí y mostrada en la Fig. 4b, se puede reconocer

una pluralidad de perturbaciones 29, 30, 31, que son causadas por intervenciones de regulación en las fuentes de alta tensión y un desarrollo que presenta aristas de la amplitud de tensión en la salida de las dos fuentes de alta tensión y conducen a un valor THD para la corriente de ensayo  $I_P$  de 0,0909.

5 Por el contrario, los desarrollos de la tensión de ensayo  $U_P$  y de la corriente de ensayo  $I_P$  realizados con una disposición de circuito según la invención presentan con valores THD de 0,000725 para la tensión de ensayo  $U_P$  (véase la Fig. 5a) y 0,0527 para la corriente de ensayo  $I_P$  un desarrollo en cada caso casi sin armónicos, en comparación con el estado de la técnica, lo que mejora significativamente la precisión de medición de un instrumento de medición equipado con una disposición de circuito según la invención.

10 La Fig. 6 finalmente muestra todavía un instrumento de ensayo 32 según la invención, que, como está representado esquemáticamente, presenta una disposición de circuito 1 según la invención ("fuente VLF-HV") para generar una tensión de ensayo (VLF) adecuada y una electrónica de medición y evaluación 33 acoplada aquí e integrada en el instrumento de ensayo ("circuito de evaluación tan-delta") para determinar el factor de pérdidas del objeto de ensayo 2 a examinar, en el presente caso un cable de alta o media tensión 2.

15 A este respecto, tanto la disposición de circuito 1 como también la electrónica de medición / evaluación 33 están dispuestas dentro de la carcasa 34 del instrumento de ensayo 32, en cuyo lado superior 35 están previstos en cuestión al menos una pantalla / elemento de visualización 36 para mostrar los datos de ensayo obtenidos y al menos un elemento de mando 37 para ajustar los parámetros de medición, como esto se indica esquemáticamente.

El instrumento también presenta una conexión 38 para la tensión de red y una conexión 39 para el objeto de ensayo 2 a conectar, en este caso a través de un cable de alta tensión 40.



## REIVINDICACIONES

1. Disposición de circuito (1) para generar una tensión de ensayo ( $U_P$ ) para examinar un objeto de ensayo (2) que comprende

- dos fuentes de alta tensión (3, 4) para generar una alta tensión positiva y una negativa ( $U_1$ ,  $U_2$ ) de amplitud variable en sus respectivas salidas (5, 6),

- una disposición de interruptores de alta tensión (7) dispuesta entre las salidas (5, 6) de las dos fuentes de alta tensión (3, 4) y el objeto de ensayo (2), que se puede conmutar adecuadamente para la carga y descarga sucesivas del objeto de ensayo (2), donde está prevista una regulación (8) que mide la tensión de ensayo actual ( $U_P$ ) en el objeto de ensayo (2) y actúa sobre la disposición de interruptores de alta tensión (7) en función de la tensión de ensayo medida ( $U_P$ ) para la carga y descarga definidas del objeto de ensayo (2),

### caracterizada por

que la regulación (8) no actúa sobre las dos fuentes de alta tensión (3, 4) y

que está previsto un control separado (14) para las dos fuentes de alta tensión (3, 4), donde el control (14) genera una señal de reloj (T) independiente de la tensión ( $U_P$ ) en el objeto de ensayo (2), de modo que por las fuentes de alta tensión (3, 4) se proporciona una alta tensión ( $U_1$ ,  $U_2$ ) sincronizada, predefinida y no influenciada por el control (8).

2. Disposición de circuito según la reivindicación 1,

### caracterizada por

que la disposición de interruptores de alta tensión (7) está formada por una disposición de interruptores semiconductores que funciona como una fuente de corriente controlada por tensión.

3. Disposición de circuito según la reivindicación 1 o 2,

### caracterizada por

que las dos fuentes de alta tensión (3, 4) están formadas por dos ramas de amplificador (18; 19), que presentan respectivamente una fuente de alimentación conmutada (21; 22), un transformador de alta tensión (23; 24) y un circuito rectificador (25; 26), donde cada rama de amplificador (18; 19) está conectada en el lado de entrada a un circuito rectificador (20) que genera una tensión continua a partir de una tensión de red.

4. Disposición de circuito según la reivindicación 3,

### caracterizada por

que las fuentes de alimentación conmutadas (21, 22) están establecidas para generar una tensión alterna sinusoidal, donde el ángulo de fase de la tensión alterna sinusoidal se predetermina por la señal de reloj (T).

5. Disposición de circuito según la reivindicación 4,

### caracterizada por

que la tensión de ensayo ( $U_P$ ) y la corriente de ensayo ( $I_P$ ) resultante de ella, con las que se realiza la carga y descarga definidas del objeto de ensayo (2), son sinusoidales.

6. Disposición de circuito según la reivindicación 5,

### caracterizada por

que la tensión de ensayo ( $U_P$ ) con una distorsión armónica total (THD) menor o igual a 0,1% está casi libre de armónicos.

7. Disposición de circuito según la reivindicación 5 o 6,

### caracterizada por

que la corriente de ensayo ( $I_P$ ) con una distorsión armónica total de (THD) menor o igual al 5% está casi libre de armónicos.

8. Instrumento de ensayo (32) que contiene una disposición de circuito (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, una conexión (38) para la tensión de red y una conexión (39) para el objeto de ensayo (2),

### caracterizado por

**que** el instrumento de ensayo (32) presenta una electrónica integrada de medición y evaluación (33) para determinar el factor de pérdidas del objeto de ensayo (2).

**9.** Instrumento de ensayo según la reivindicación 8,

**caracterizado por**

- 5 **que** el instrumento de ensayo (32) para determinar el factor de pérdidas presenta una precisión de medición de  $\pm 1 \cdot 10^{-4}$ , y a saber con una capacidad del objeto de ensayo de solo 2 nF y sobre un rango de tensión de ensayo de 3 kV a 20 kV.

**10.** Instrumento de ensayo según cualquiera de las reivindicaciones 8 o 9,

**caracterizado por**

- 10 **que** la corriente de ensayo ( $I_P$ ) medida en la electrónica de medición y evaluación (32) se realiza a través de una conexión a tierra de protección o mediante una conexión de guardia.

**11.** Procedimiento para generar una tensión de ensayo ( $U_P$ ) para examinar un objeto de ensayo (2) que comprende los siguientes pasos:

- 15 (A) generación de una primera alta tensión ( $U_1$ ) con signo positivo y amplitud variable en la salida de una primera fuente de alta tensión (3) y una segunda alta tensión ( $U_2$ ) con signo negativo y amplitud variable en la salida de una segunda fuente de alta tensión (4), y

- 20 (B) carga y descarga sucesivas del objeto de ensayo (2) mediante la conmutación adecuada de una disposición de interruptores de alta tensión (7) dispuesta entre las salidas (5, 6) de las fuentes de alta tensión (3, 4) y el objeto de ensayo (2), donde está previsto un control (8), que mide la tensión ( $U_P$ ) en el objeto de ensayo (2) y actúa sobre la disposición de interruptores de alta tensión (7) en función de la tensión medida ( $U_P$ ) para la carga y descarga definidas del objeto de ensayo (2),

**caracterizado por**

**que** la regulación (8) no actúa sobre las dos fuentes de alta tensión (3, 4) y

- 25 **que** un control separado (14) actúa sobre las dos fuentes de alta tensión (3, 4), donde el control (14) genera una señal de reloj (T) independiente de la tensión ( $U_P$ ) en el objeto de ensayo (2), de modo que por las fuentes de alta tensión (3, 4) se proporciona una alta tensión ( $U_1$ ,  $U_2$ ) sincronizada, predefinida y no influenciada por el control (8).

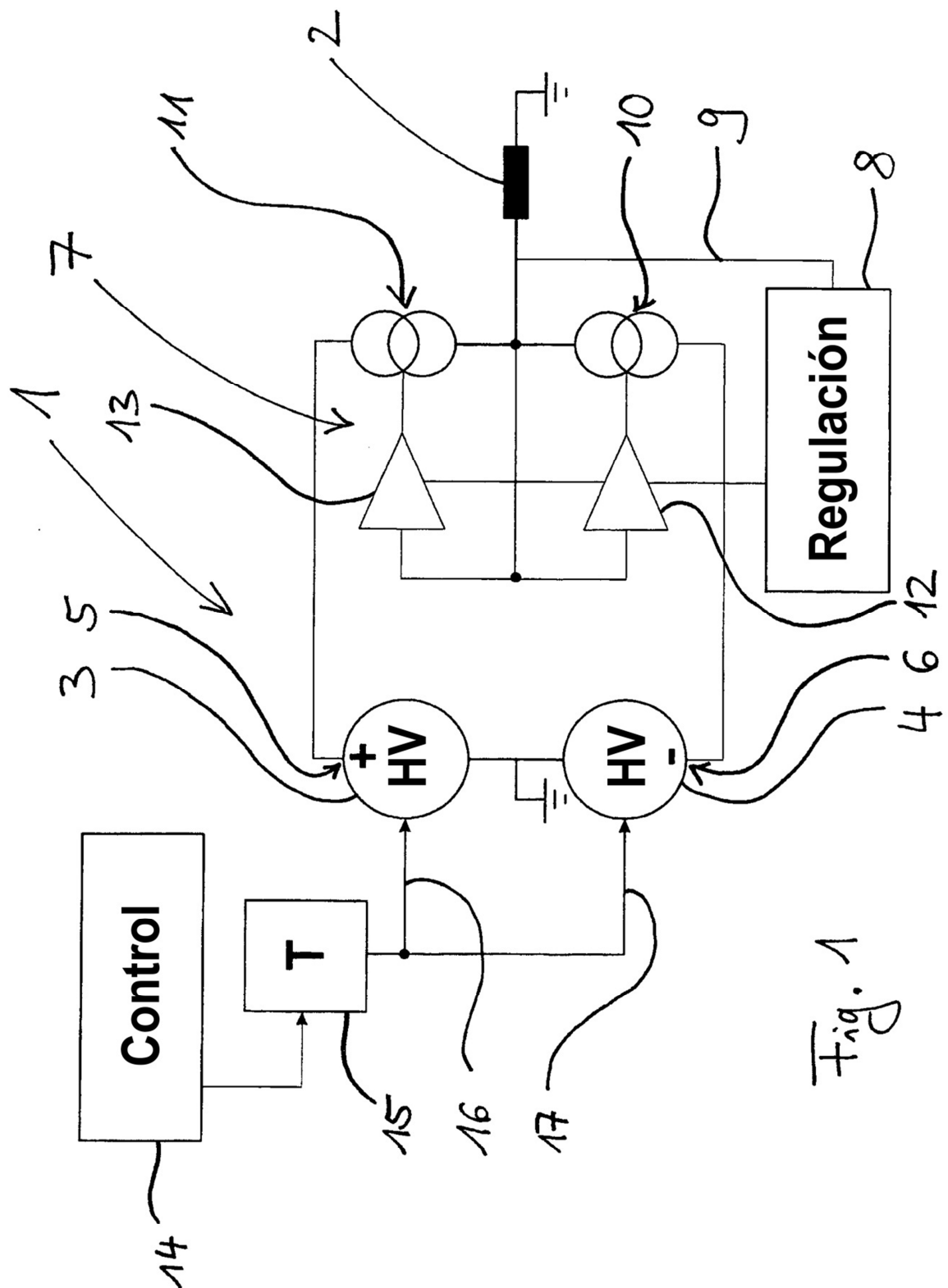


Fig. 1

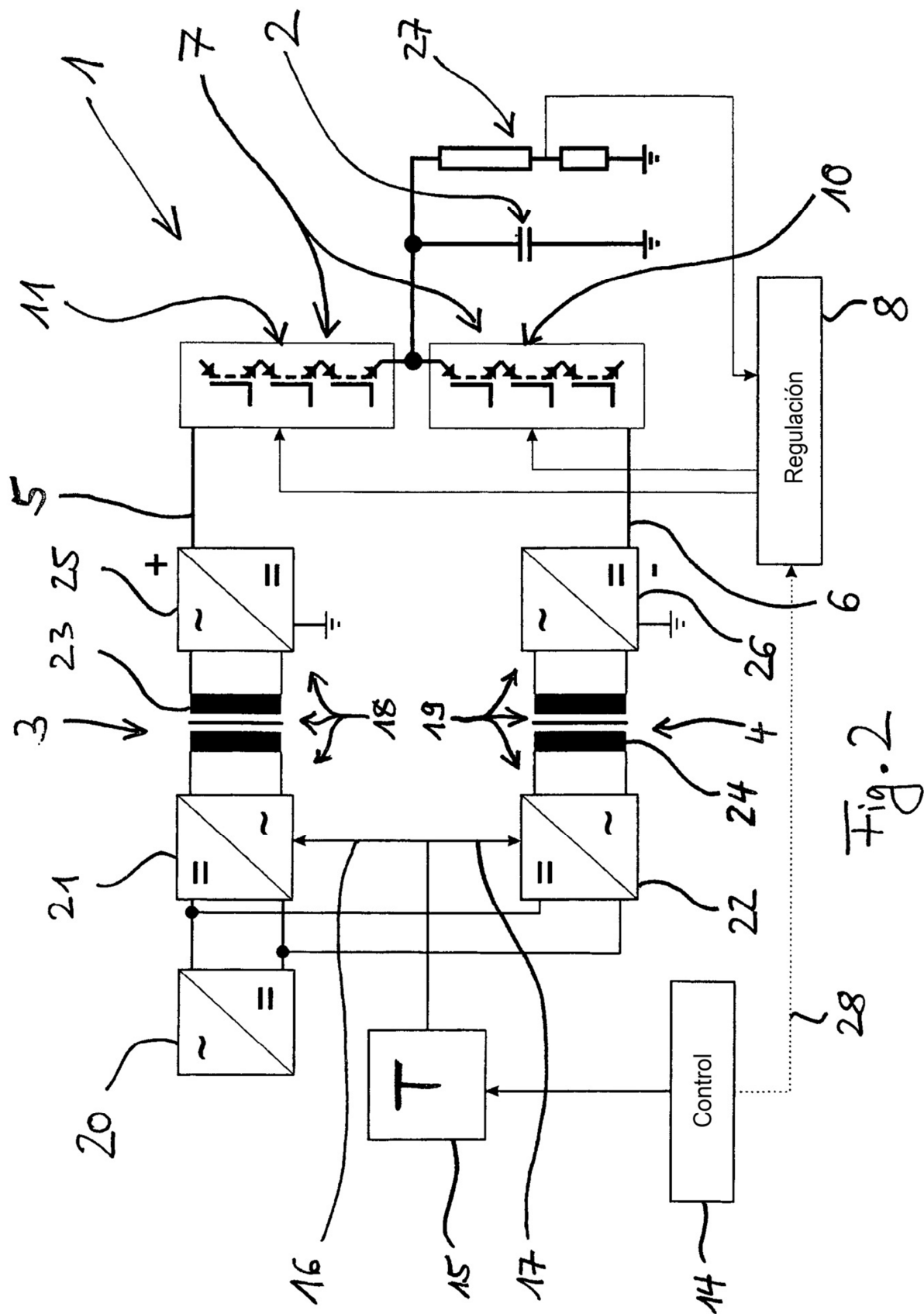


Fig. 2

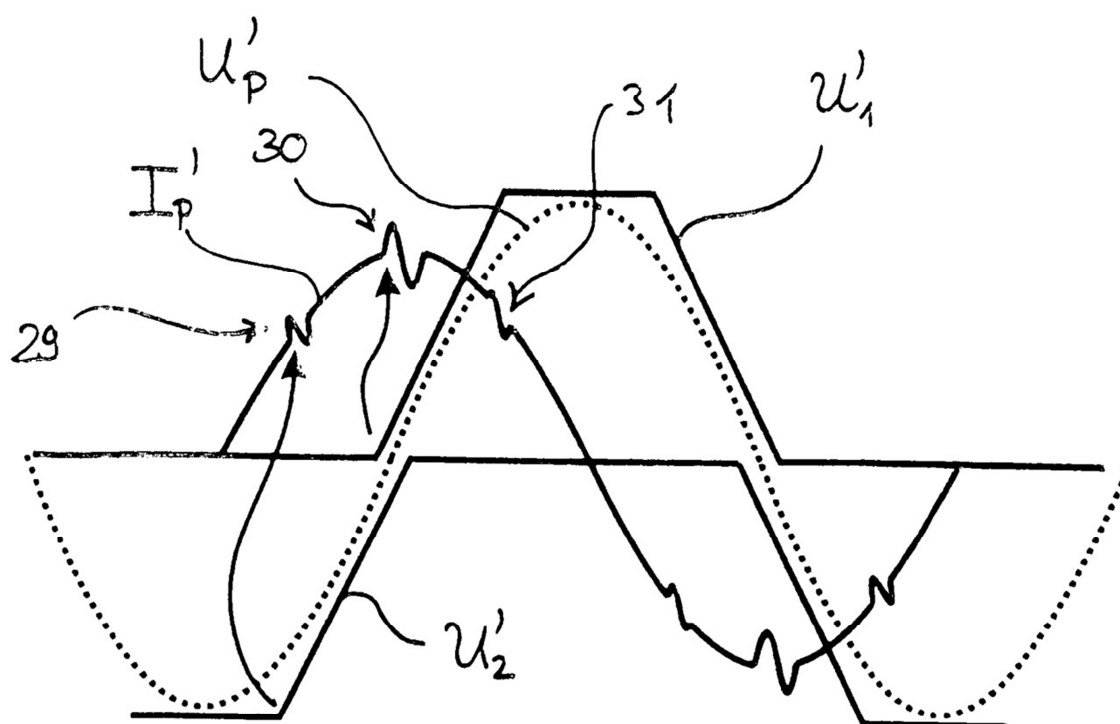


Fig. 3a (Estado de la técnica)

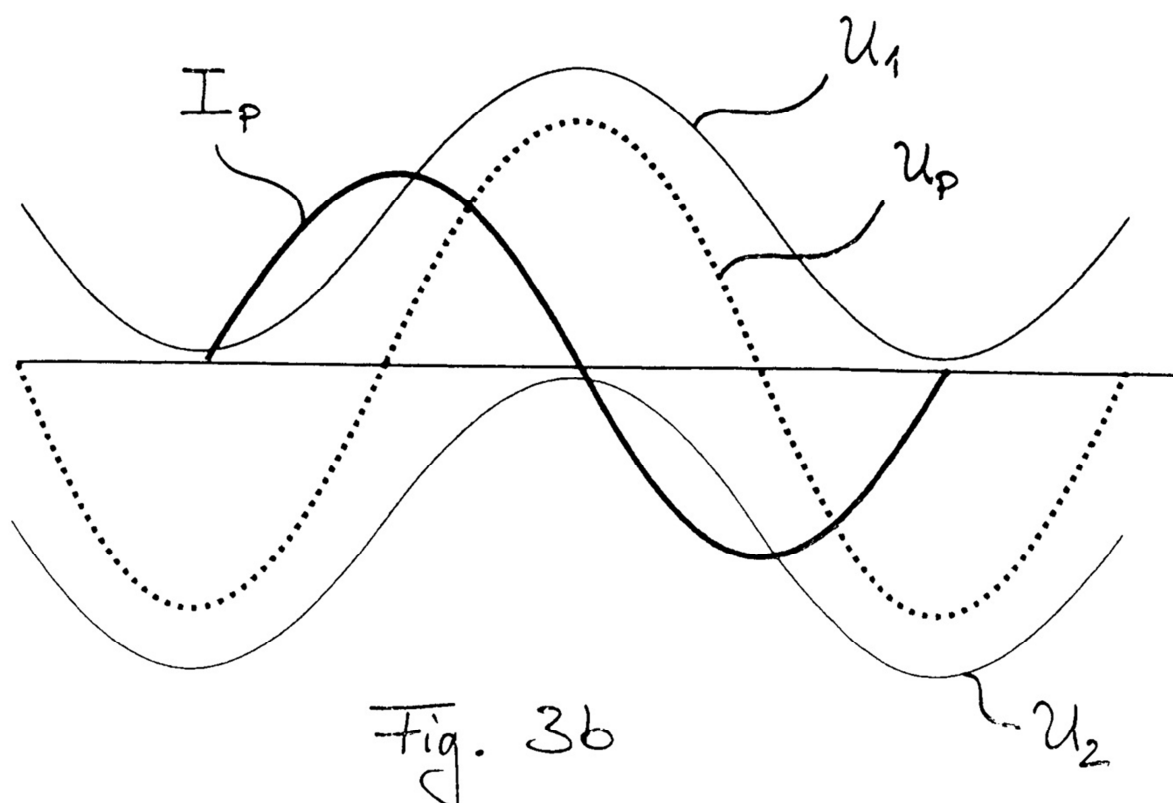


Fig. 3b

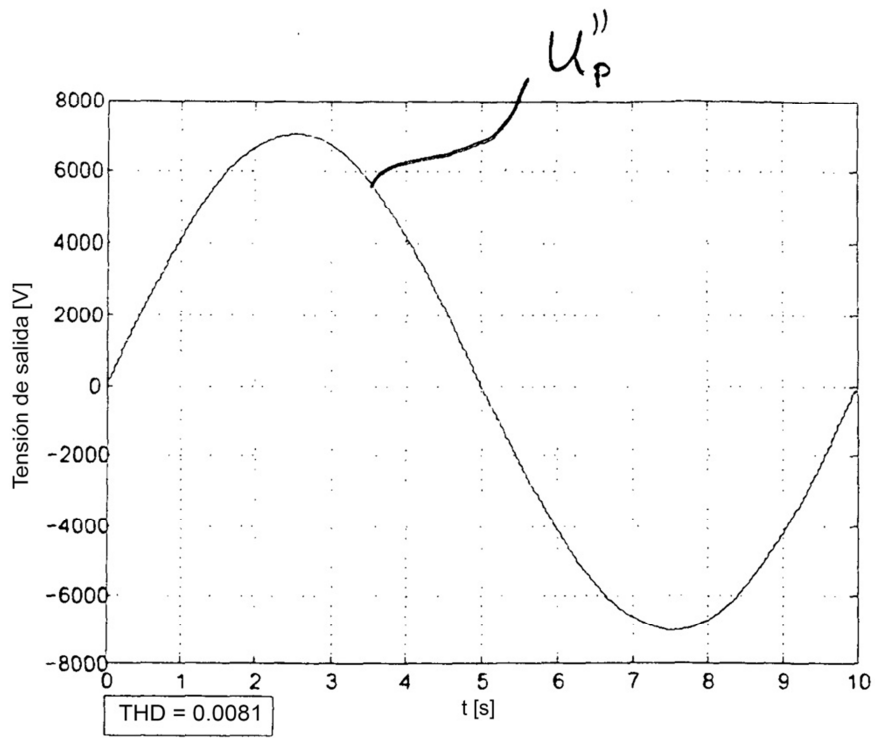


Fig. 4a (Estado de la técnica)

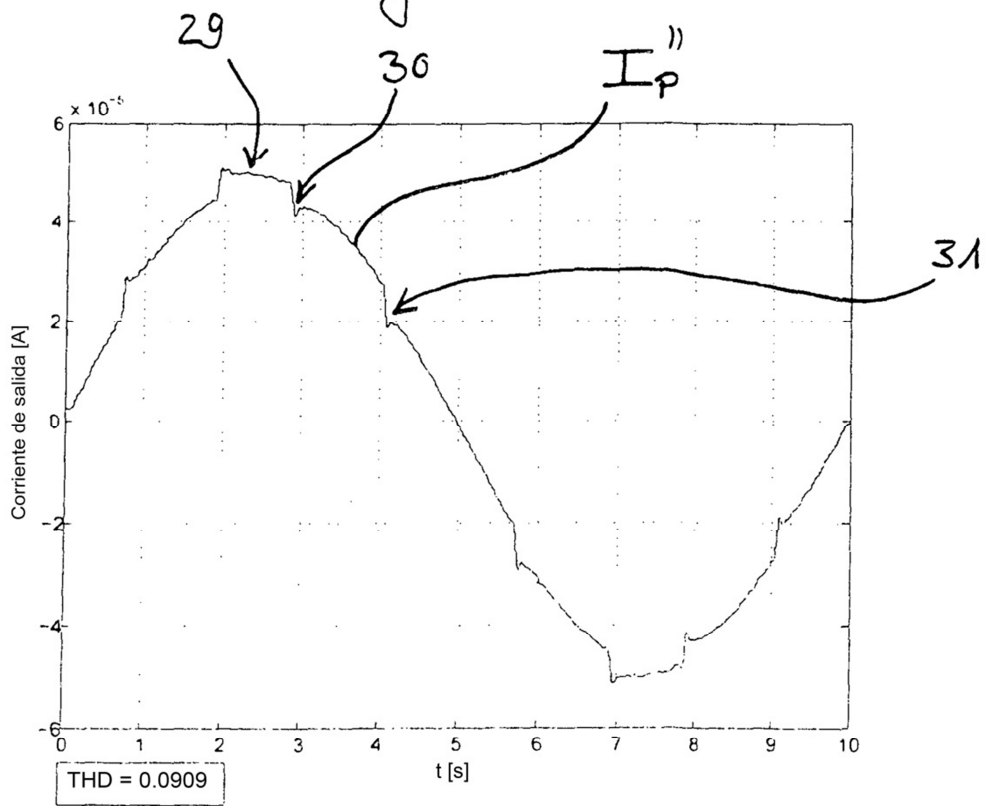


Fig. 4b (Estado de la técnica)

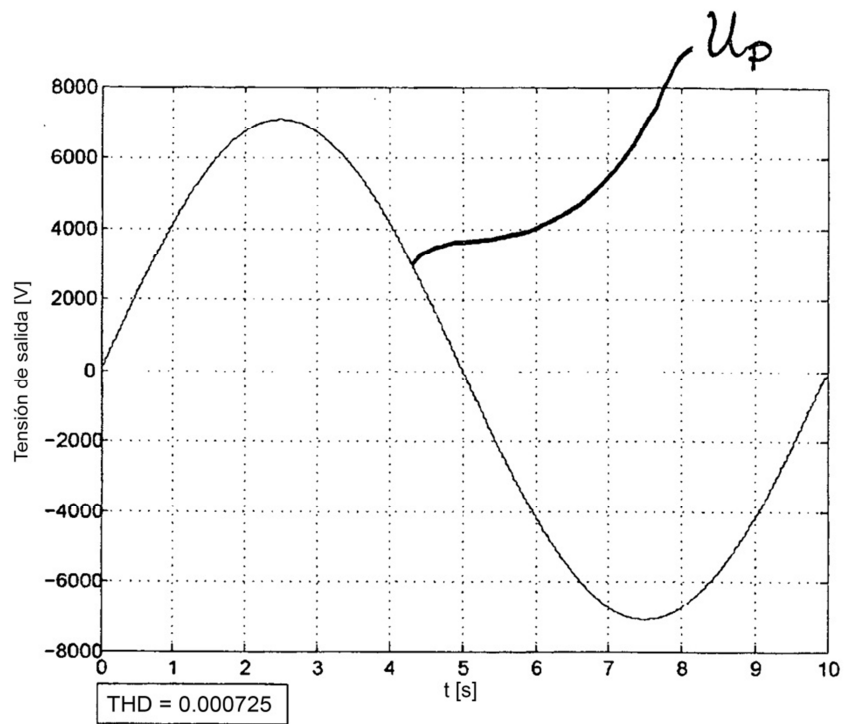


Fig. 5a

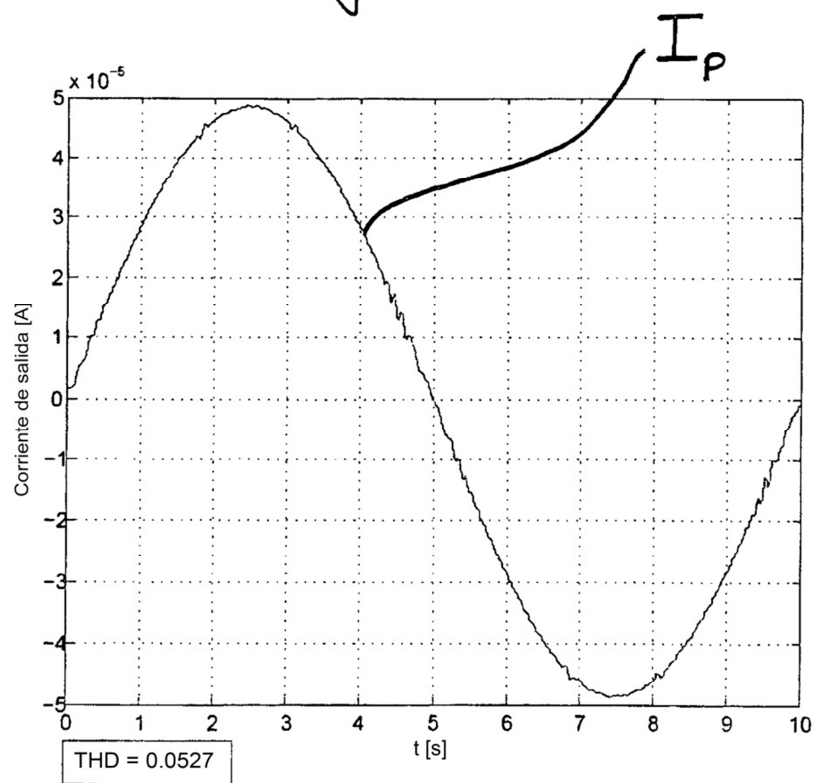


Fig. 5b

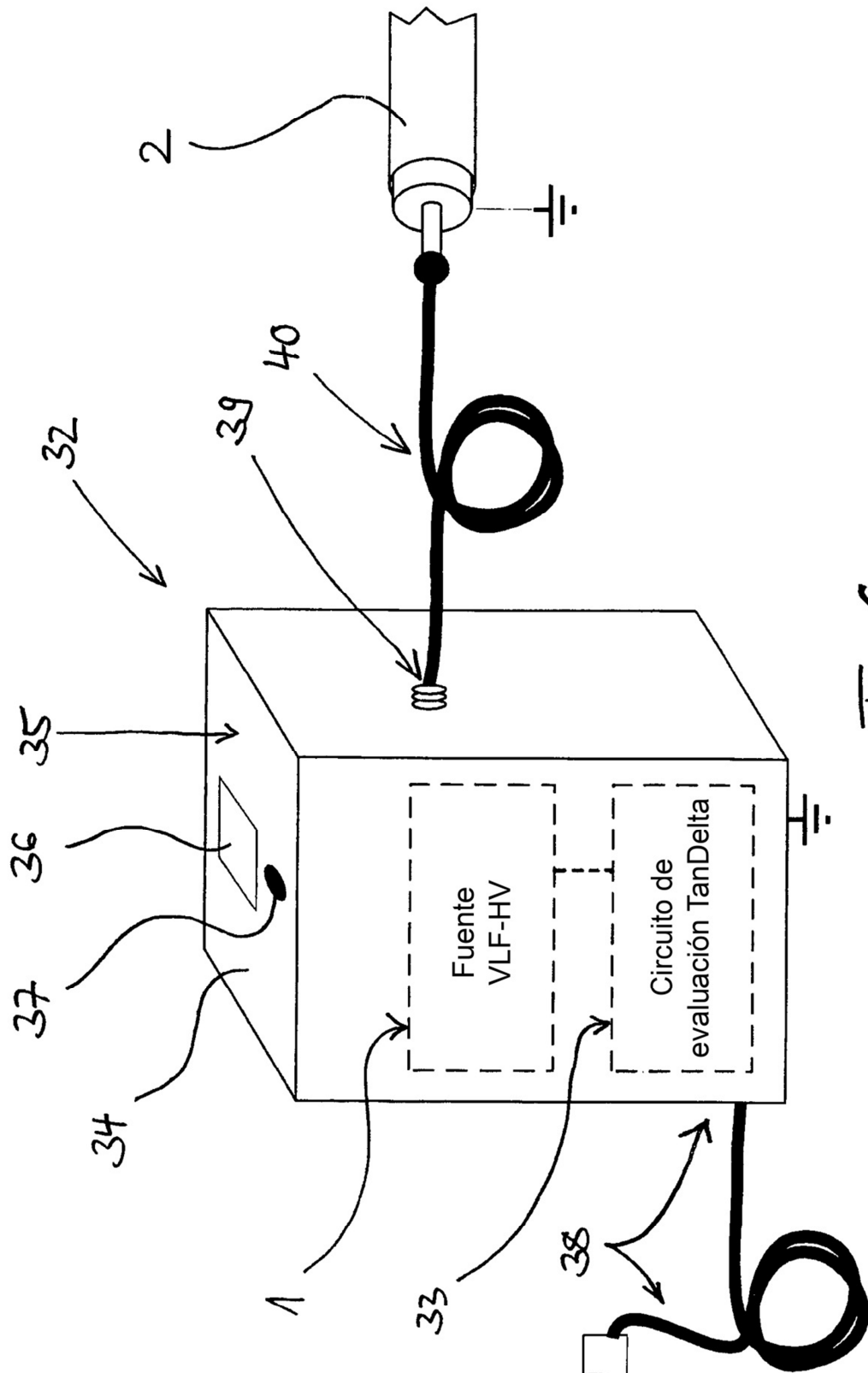


Fig. 6