

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 959 832**

51 Int. Cl.:

**A61B 18/12** (2006.01)

**H03K 3/335** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.11.2020 PCT/EP2020/083979**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.06.2021 WO21110607**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.11.2020 E 20819659 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.07.2023 EP 4069118**

54 Título: **Circuito generador de pulsos y generador electroquirúrgico que incorpora el mismo**

30 Prioridad:

**04.12.2019 GB 201917693**

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

**28.02.2024**

73 Titular/es:

**CREO MEDICAL LIMITED (100.0%)  
Creo House Unit 2 Beaufort Park Beaufort Park  
Way  
Chepstow, Monmouthshire NP16 5UH, GB**

72 Inventor/es:

**HANCOCK, CHRISTOPHER PAUL;  
DAVIES, ILAN y  
HODGKINS, GEORGE**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

ES 2 959 832 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

Circuito generador de pulsos y generador electroquirúrgico que incorpora el mismo

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un circuito de generación de pulsos para un generador electroquirúrgico, y a un generador electroquirúrgico que incorpora dicho circuito de generación de pulsos.

10 **Antecedentes de la invención**

Los generadores electroquirúrgicos están omnipresentes en los quirófanos de los hospitales, para su uso en procedimientos abiertos y laparoscópicos, y también están cada vez más presentes en las salas de endoscopia. En los procedimientos endoscópicos, normalmente se introduce el accesorio electroquirúrgico a través de una luz por dentro de un endoscopio. Considerada frente al canal de acceso equivalente para una cirugía laparoscópica, dicha luz es comparativamente estrecha en diámetro interior y mayor en longitud.

El documento WO 2019/185331 A1 divulga un generador electroquirúrgico capaz de suministrar energía en forma de onda que provoca la electroporación en tejido biológico. El generador electroquirúrgico puede comprender una unidad de suministro de forma de onda de electroporación que está integrada con medios para generar señales electromagnéticas de microondas y señales electromagnéticas de radiofrecuencia para tratamiento. El generador electroquirúrgico puede configurarse para administrar diferentes tipos de energía a lo largo de un cable de alimentación común. La unidad de suministro de forma de onda de electroporación comprende una fuente de alimentación de CC y un generador de pulsos de CC. La fuente de alimentación de CC puede incluir un convertidor CC-CC para convertir una salida de voltaje mediante una fuente de voltaje ajustable. Cada pulso de CC puede tener una duración en el intervalo de 1 ns a 10 ms y una amplitud máxima en el intervalo de 10 V a 10 kV.

El documento "Avalanche transistor" de Tampieri Daniele, publicado en Wikipedia el 30 de noviembre de 2019, describe un circuito de generación de pulsos para un generador electroquirúrgico que comprende una fuente de voltaje conectada a una carga y un transistor de avalancha a modo de elemento de conmutación, una línea de transmisión coaxial de circuito abierto conectada entre el elemento de conmutación y la fuente de voltaje, para ser cargada por la fuente de voltaje cuando el elemento de conmutación está en un estado APAGADO y para ser descargada cuando el elemento de conmutación está en un estado ENCENDIDO, y un generador de pulsos de activación para generar un pulso de activación para activar el transistor de avalancha.

El documento "Application of avalanche transistors to circuits with a long mean time to failure", de Werner B Herden, IEEE Transactions on instrumentation and measurement, vol. IM-25, n.º 2, 1 de junio de 1976, páginas 152-160, describe un circuito de generación de pulsos en el que el elemento de conmutación comprende una pluralidad de transistores de avalancha conectados en serie.

En los últimos años se han producido numerosos desarrollos de generadores de pulsos de campo eléctrico ultracortos [1]. Los pulsos de campo eléctrico ultracortos en el régimen de nanosegundos presentan numerosas aplicaciones. Las aplicaciones incluyen: medición de partículas, fotografía, detección por radar de banda ultraancha y aplicaciones médicas, por nombrar algunas [2]-[3].

Existen numerosos métodos para un campo eléctrico con pulsos de nanosegundos de alta amplitud, con un tiempo de subida y bajada de 2 ns. Tradicionalmente, se han usado implementaciones a base de líneas de transmisión coaxial, tal como la técnica de Blumlein, en correlación con técnicas de distancia disruptiva, banco de Marx, o de conmutador de apertura de diodos y láser para generar pulsos de nanosegundos de alto voltaje [1].

50 **Sumario de la invención**

La invención está definida por las reivindicaciones independientes adjuntas. En las reivindicaciones dependientes se ilustran realizaciones preferidas de la invención.

En su forma más general, la presente invención proporciona un circuito de generación de pulsos para un generador electroquirúrgico, que está configurado para generar pulsos de alto voltaje que tienen una duración inferior a 10 ns adecuados para provocar la electroporación de células biológicas. En concreto, el circuito de generación de pulsos divulgado en el presente documento puede ser adecuado para generar pulsos que presenten un perfil de "parte superior plana", es decir, que tengan tiempos de subida y bajada pronunciados (por ejemplo, menos de 2 ns), con una mínima oscilación. Como se explica con más detalle más adelante, esto se puede lograr mediante una técnica de línea de transmisión de circuito abierto junto con el apilamiento de transistores de avalancha a modo de elemento de conmutación rápida.

De acuerdo con la invención, se proporciona un circuito de generación de pulsos para un generador electroquirúrgico, comprendiendo el circuito de generación de pulsos: una fuente de voltaje que puede conectarse a una carga a través

de un elemento de conmutación; una línea de transmisión coaxial de circuito abierto conectada entre el elemento de conmutación y la fuente de voltaje, para ser cargada por la fuente de voltaje cuando el elemento de conmutación está en un estado APAGADO y para ser descargada cuando el elemento de conmutación está en un estado ENCENDIDO, en donde el elemento de conmutación comprende: una pluralidad de transistores de avalancha conectados en serie; y un generador de pulsos de activación configurado para generar un pulso de activación para activar la pluralidad de transistores de avalancha conectados en serie, y en donde la impedancia de la línea de transmisión coaxial está configurada para igualar una suma de (i) la impedancia de la pluralidad de transistores de avalancha conectados en serie, y (ii) la impedancia de la carga. Esta configuración de circuito puede producir un pulso con parte superior plano (debido a la condición de impedancia adaptada) que tiene una duración corta (controlada por la longitud de la línea de transmisión coaxial), con un tiempo de subida ultracorto (controlado por el elemento de conmutación) y una amplitud adecuada para la electroporación debido al efecto en cascada de los transistores de avalancha conectados en serie. En concreto, la amplitud de la salida puede ser de 500 V o más, p. ej., de 1 kV o más, sin exceder el voltaje de ruptura de base-colector a través de cualquiera de la pluralidad de transistores de avalancha conectados en serie.

La línea de transmisión coaxial puede tener una longitud seleccionada para proporcionar un retardo de la línea igual o inferior a 5 ns. La duración del pulso es el doble del retraso de la línea, por lo que el pulso de salida puede tener una duración igual o menor a 10 ns.

La línea de transmisión coaxial puede ser cargada por la fuente de voltaje a través de una resistencia que tiene una alta impedancia, p. ej., 1 MΩ. Por lo tanto, se puede considerar que el circuito comprende un primer bucle cuando el elemento de conmutación está en un estado APAGADO y un segundo bucle cuando el elemento de conmutación está en un estado ENCENDIDO. En el primer bucle, la corriente fluye desde la fuente de voltaje a través de la resistencia para cargar la línea de transmisión coaxial. En el segundo bucle, la corriente fluye desde la línea de transmisión coaxial a través del elemento de conmutación hasta la carga.

El pulso de activación puede comprender una señal TTL. El generador de pulsos de activación puede ser cualquier fuente adecuada para generar dicha señal, por ejemplo, un microprocesador o similar. El pulso de activación puede tener un voltaje menor que el voltaje de ruptura de base-emisor de cada uno de la pluralidad de transistores de avalancha. La duración del pulso de activación puede ser mayor que la duración del pulso de la línea de transmisión coaxial, para garantizar que el elemento de conmutación esté en estado ENCENDIDO durante el tiempo suficiente para que la línea de transmisión coaxial se descargue por completo. En un ejemplo, el pulso de activación tiene un voltaje de 5 V y una duración de 600 ns.

El generador de pulsos de activación puede estar conectado a la pluralidad de transistores de avalancha conectados en serie a través de un transformador. Esto significa que la señal de activación flota entre la base y el emisor y, por lo tanto, es independiente del voltaje a través del transistor y de la carga. En un ejemplo, el pulso de activación se puede aplicar entre el colector y el emisor de un primer transistor de la pluralidad de transistores de avalancha conectados en serie. El primer transistor puede ser el transistor que esté más alejado de la línea de transmisión coaxial.

Se puede conectar un diodo en paralelo con cada uno de la pluralidad de transistores de avalancha conectados en serie, para fijar el voltaje a través de cada transistor de modo que sea menor que su voltaje de ruptura de base-colector. Esto protege los transistores.

Cada transistor de la pluralidad de transistores de avalancha conectados en serie puede ser idéntico, de modo que el voltaje de la fuente de voltaje se divida uniformemente entre los transistores.

Tal como se ha mencionado anteriormente, la presente invención resulta particularmente adecuada para su uso en electrocirugía. Por lo tanto, la carga puede comprender un instrumento electroquirúrgico capaz de administrar un pulso monopolar para la electroporación de tejido biológico.

La invención proporciona un generador electroquirúrgico que tiene un circuito de generación de pulsos como se ha expuesto anteriormente.

### Breve descripción de los dibujos

#### Ejemplos

A continuación se analizan ejemplos con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la Fig. 1 es un diagrama esquemático que ilustra el principio de un generador de línea de descarga con un conmutador ideal;
- la Fig. 2 es un gráfico que muestra una forma de onda de voltaje en (i) la línea de transmisión y (ii) la carga de la Fig. 1;
- la Fig. 3A es un diagrama esquemático que representa la línea de transmisión de circuito abierto de la Fig. 1 en un modelo de CC;
- la Fig. 3B es un diagrama esquemático que representa la línea de transmisión de circuito abierto de la Fig. 1 en un

modelo de línea de transmisión;

la Fig. 4 es un diagrama esquemático que muestra la línea de transmisión en circuito abierto de la Fig. 1 con un transistor de avalancha para generar un pulso de campo eléctrico ultracorto;

5 la Fig. 5 es un diagrama de un circuito LTSpice simulado de un generador de pulsos de campo eléctrico ultracortos monopolares;

la Fig. 6 es un gráfico que muestra pulsos de diversas duraciones generados a partir del circuito LTSpice de la Fig. 5; y

la Fig. 7 es un pulso monopolar observado con una carga coincidente de 35 Q con respecto al circuito de la Fig. 5.

## 10 Descripción detallada, opciones y preferencias adicionales

Es posible generar pulsos ultracortos usando una línea de transmisión coaxial de circuito abierto como elemento de almacenamiento de alta Q que conste de inductores y condensadores de derivación distribuidos en serie con una resistencia y una conductancia en derivación mínimas. La descarga de una línea de retardo de extremo abierto a través de un elemento de conmutación rápida proporciona un medio para producir un pulso rectangular de "parte superior plana" con tiempos de caída pronunciados de menos de 2 ns de manera sencilla y asequible. La línea de transmisión coaxial con una impedancia  $Z_0$  característica, una longitud de  $l$  y una constante dieléctrica  $\epsilon_r$  se carga a un nivel de voltaje  $V_{cc}$ , a través de una resistencia  $R_c$  de alta impedancia. La línea tendrá un tiempo de retraso  $T$  asociado dado por la siguiente ecuación:

20

$$T = \frac{l\sqrt{\epsilon_r}}{c}$$

donde  $c$  es la velocidad de la luz ( $2,99 \times 10^8$  m/s).

25 De esto se deduce que la duración de pulso asociada con la línea de transmisión es:

$$2T = 2 \frac{l\sqrt{\epsilon_r}}{c}$$

30 Se puede generar un pulso de campo eléctrico ultracorto en una carga,  $R_L$ , descargando la línea de transmisión a través de  $R_L$  cerrando un elemento de conmutación. El elemento de conmutación determina el tiempo de subida del pulso de campo eléctrico ultracorto, mientras que la línea de transmisión determina la duración (o anchura) y el tiempo de caída del pulso.

35 Como se ha explicado anteriormente, la duración del pulso en la carga será el doble del tiempo de retardo asociado de la línea de transmisión.

La Fig. 1 ilustra el principio de una técnica de línea de transmisión de circuito abierto con un conmutador ideal como elemento de conmutación.

40 La Fig. 2 muestra las formas de onda de voltaje obtenidas del sistema de la Fig. 1 en (i) la línea de transmisión  $Z_0$  y (ii) la carga  $R_L$ .

45 La relación entre la impedancia característica de la línea de transmisión  $Z_0$  y la carga  $R_L$  es integral en dos maneras para el desempeño de una técnica de línea de transmisión coaxial de circuito abierto, que puede entenderse modelando la configuración utilizando la teoría de circuitos directos (CD) y la teoría de líneas de transmisión.

En la teoría de CD, la relación entre  $Z_0$  y  $R_L$  imita un divisor potencial, como se muestra en la Fig. 3A. Su relación determina la amplitud del pulso en la carga  $V_L$ :

50

$$V_L = \left( \frac{R_L}{R_L + Z_0} \right) V_{cc}$$

Si la impedancia  $Z_0$  es igual que  $R_L$ , la amplitud máxima del pulso en la carga,  $V_{Lmáx}$ , será la mitad del voltaje al que se carga la línea de transmisión:

55

$$si R_L = Z_0, V_{Lmáx} = \frac{V_{cc}}{2}$$

Usando un modelo de línea de transmisión, el sistema se puede representar como se muestra en la Fig. 3B. En este modelo, la relación entre  $Z_0$  y  $R_L$  determina el coeficiente de reflexión y, por tanto, la forma del pulso en la carga. Si  $R_L$  es igual que  $Z_0$ , el coeficiente de reflexión será cero y no se verá ningún pulso secundario ni reflexión del pulso primario en la carga:

60

$$\Gamma = \left( \frac{R_L - Z_0}{R_L + Z_0} \right) \quad \therefore si R_L = Z_0, \Gamma = 0$$

Por tanto, la relación de  $Z_0$  y  $R_L$  determina dos aspectos clave del pulso en una carga: (i) la amplitud del pulso, y (ii) la forma del pulso (causada por cualquier reflexión). Del análisis anterior se desprende que la mejor forma y parámetros del pulso, la impedancia característica de la línea de transmisión  $Z_0$  y la carga  $R_L$  deben coincidir.

5 Otras características del pulso están controladas por otros parámetros del circuito. Por ejemplo, el tiempo de subida del pulso está determinado por el comportamiento del elemento de conmutación, mientras que el ancho de pulso está determinado por la longitud de la línea de transmisión, como se ha indicado anteriormente.

10 Este elemento de conmutación está proporcionado en realizaciones de la invención preferentemente por una serie apilada de transistores de avalancha. Se sabe que un transistor de avalancha proporciona una conmutación de alta velocidad fiable y repetible de altos voltajes con tiempos de subida tan bajos como 300 ps, lo cual se puede lograr en la práctica si se consideran técnicas de diseño de componentes de microondas al implementar el circuito. Los transistores de avalancha utilizan la región de características de resistencia negativa de los transistores de unión bipolar, que resultan de la operación en la región de ruptura del colector-emisor. La región de avalancha se encuentra entre el voltaje emisor-colector ( $V_{CEO}$ ) y el voltaje base-colector ( $V_{CBO}$ ) cuando la corriente de base  $I_B = 0$  A y corriente de emisor  $I_E = 0$  A.

20 La Fig. 4 es un diagrama esquemático de un circuito 100 de generación de pulsos que utiliza una técnica de línea de transmisión de circuito abierto en combinación con un transistor de avalancha como elemento de conmutación rápida. La función del circuito se basa en la descarga de la línea de transmisión de circuito abierto a través de un transistor de avalancha en una carga  $R_L$ .

25 Se puede configurar un único circuito de transistor de avalancha para que tenga un funcionamiento biestable, donde la amplitud máxima de pulso en la salida está limitada a la mitad del valor del voltaje de ruptura de colector-emisor del transistor,  $BV_{CES}$ , si  $Z_0 = R_L$ . Un voltaje de alimentación  $V_{cc}$  encima del transistor  $BV_{CES}$  rompería y dañaría permanentemente los transistores de avalancha como elemento de conmutación.

30 Inicialmente, la energía se almacena en una línea de transmisión coaxial a través de un pequeño flujo de corriente en el bucle 1. Un activador positivo en la base del transistor pondrá repentinamente el transistor en el modo 'encendido'. La energía almacenada en la línea de transmisión se liberará simultáneamente como corriente elevada a lo largo del bucle 2, produciendo un pulso en  $R_L$ . El ancho del activador en la base es más largo que  $2T$ , es decir, el ancho de pulso requerido en la carga.

35 La Fig. 5 muestra un circuito 200 de generación de pulsos que es una realización de la invención. El circuito 200 de generación de pulsos es similar al circuito mostrado en la Fig. 4, excepto por que en lugar del transistor de avalancha único, y de acuerdo con la invención, hay una pluralidad (cinco en este ejemplo) de transistores de avalancha conectados en serie. La pluralidad de transistores de avalancha conectados en serie funcionan efectivamente, en combinación, como un único transistor de avalancha. Esto significa que la descarga de la línea de transmisión de circuito abierto se produce a través de los transistores apilados hasta la carga, lo que resulta en un efecto de cascada que causa una amplitud de pulso proporcionalmente mayor en la carga. En este ejemplo, cada uno de los transistores de avalancha es idéntico de modo que el voltaje de alimentación  $V_{cc}$  se distribuye equitativamente en cada uno de los transistores de avalancha de la cadena en serie.

45 En esta disposición, la amplitud de pulso máxima que se puede generar depende del número de transistores de avalancha  $n$  apilados. El número de transistores de avalancha necesarios para generar una amplitud de pulso  $V_L$  específica se puede expresar como

$$V_L = nBV_{CBO} \left( \frac{R_L}{R_L + Z_0} \right)$$

50 donde  $BV_{CBO}$  es el voltaje de ruptura de colector-base de cada transistor de avalancha. Si  $R_L = Z_0$ , la amplitud de pulso máxima  $V_{Lm\acute{a}x}$  se puede expresar por lo tanto como

$$V_{Lm\acute{a}x} = \frac{nBV_{CBO}}{2}$$

55 En el circuito 200 de generación de pulsos están apilados cinco transistores de avalancha FM417. Cada transistor tiene un voltaje de ruptura  $BV_{CEO}$  de colector-emisor de 100 V y un voltaje de ruptura  $BV_{CBO}$  de colector-base de 320 V. El circuito que se muestra en la Fig. 5 se simuló utilizando modelos LTSpice. El modelo Spice del FM417 se tomó directamente del sitio web del fabricante. La resistencia de la fuente  $R_c$  es 1 MQ, la impedancia característica de la línea de transmisión  $Z_0$  es 50  $\Omega$ , el voltaje de fuente  $V_{cc}$  es 1,5 kV.

60 El circuito puede incluir un diodo (no mostrado) conectado en paralelo con cada transistor para fijar el voltaje y garantizar que el voltaje a través de cada transistor no exceda su voltaje de ruptura de base-colector. Hacerlo así puede aumentar la vida útil de los transistores y garantizar que la señal de activación funcione.

65 La señal de activación puede proporcionarse mediante cualquier fuente adecuada. Preferentemente, la señal de

activación la genera una fuente TTL o un microcontrolador. En este ejemplo, la señal de activación comprende un pulso que tiene una duración de 600 ns y una amplitud de 5 V y un período de pulso (período de repetición) de 20 ms. Resulta ventajoso contar con una señal de activación de 5 V porque es menor que el voltaje de ruptura de base-emisor de los transistores.

5 La anchura de pulso de la señal de activación está dispuesta para que sea más larga que el pulso que se desea generar desde la línea de transmisión. En este caso se eligió una duración de 600 ns para proporcionar un margen seguro que permitiera descargar toda la línea de transmisión.

10 La tasa de repetición de la señal de activación (período de pulso) está limitada por el tiempo que tarda la línea de transmisión cargada en circuito abierto en cargarse nuevamente a su capacidad total.

15 Se dispone un transformador entre el generador de señal de activación y la base y el emisor del primer transistor de la pila (es decir, el transistor más alejado de la línea de transmisión). Esta configuración significa que el pulso de activación está flotando y, por lo tanto, debe ser el mismo entre la base y el emisor del primer transistor sin importar el voltaje a través del transistor y en la carga. Como resultado, la amplitud de pulso en la carga debería aumentar linealmente con el número de transistores en la pila. El transformador puede ser un transformador de accionamiento de puerta 1-EMR-046 que tenga una relación de devanado de 1:1 y aislamiento de voltaje elevado.

20 En uso, los cinco transistores de avalancha apilados están inicialmente en su estado apagado, teniendo cada transistor 300 V a través del mismo (es decir  $V_{cc}/n$ ). Cuando se aplica una señal de activación positiva a la base del primer transistor Q1, Q1 pasa al modo 'encendido' y pone el voltaje del colector cerca del potencial de tierra. Esto da como resultado que el segundo transistor Q2 tenga el doble de voltaje de colector-emisor, creando así la condición deseada en términos de sobretensión y provocando por lo tanto una avalancha no destructiva de Q2 y poniendo su colector cerca del potencial de tierra. Esto crea un efecto 'secuencial' en el siguiente transistor de la cadena, lo que da como resultado una sobretensión que va desde los primeros transistores de avalancha, Q1, hasta los transistores de avalancha finales, Q5, situados cerca de la línea de transmisión de circuito abierto cargada. Cuando Q5 pasa al modo 'encendido', se produce un tiempo de subida rápido en la carga (< 2 ns), permitiendo por lo tanto que la línea de transmisión de circuito abierto cargada se descargue a través de la carga produciendo un pulso con un ancho de  $2T$  y una amplitud máxima de  $V_{cc}/2$ , si  $R_L = Z_0$ .

Por tanto, el circuito 200 de generación de pulsos puede usarse para generar pulsos de campo eléctrico ultracortos monopolares.

35 Aunque no se muestra en la Fig. 5, el circuito 200 de generación de pulsos puede comprender además un condensador conectado en paralelo con la resistencia  $R_C$  de alta impedancia. Esto actúa como un depósito de corriente para permitir que se proporcione una corriente elevada durante un corto período de tiempo sin provocar una caída de voltaje significativa. Por ejemplo, si se desea producir un pulso que tenga un voltaje pico de 1 kV, la corriente de accionamiento  $I_d$  requerida se puede calcular como  $I_d = C \frac{dv}{dt}$ , donde  $C$  es la capacitancia de carga (es decir, la capacitancia combinada de la línea de transmisión coaxial y  $R_L$ ), y  $\frac{dv}{dt}$  es el cambio deseado de voltaje durante el tiempo de aumento del pulso. La corriente de accionamiento  $I_d$  puede ser de 1500 A o más, p. ej., de 2000 A. El condensador de reserva evita que el voltaje del pulso caiga significativamente durante la duración del pulso. El valor de capacitancia  $C_{res}$  del condensador de reserva se puede calcular teniendo en cuenta una caída de voltaje aceptable  $\frac{dv}{dt}$  (digamos 1 V en un pulso de 10 ns) para la corriente de accionamiento  $I_d$ . El valor de capacitancia  $C_{res}$  puede ser de 1,5 a 2,5  $\mu$ F, por ejemplo.

45 La Fig. 6 es un gráfico que muestra pulsos de voltaje obtenidos para un intervalo de longitudes de líneas de transmisión. En la Fig. 6, las longitudes de las líneas de transmisión se caracterizan por el retardo de la línea  $T$ . El gráfico demuestra que la longitud de la línea de transmisión determina el ancho del pulso de  $2T$ , es decir, líneas de transmisión con retardos de línea de 5 ns, 25 ns, 50 ns y 100 ns producen anchos de pulso de 10 ns, 50 ns, 100 ns y 200 ns, respectivamente. Adicionalmente, los tiempos de subida de los cuatro pulsos son iguales y menores a 2ns, lo que enfatiza que el elemento de conmutación, es decir, los cinco transistores de avalancha, determina este factor.

50 El gráfico de la Fig. 6 sugiere que una carga S2 de 50 no coincide con la impedancia característica de la línea de transmisión porque en cada señal se ve un pulso secundario de menor amplitud que el pulso primario. Esto sugirió una carga inigualable debido a la reflexión, es decir  $\Gamma \neq 0$ . De acuerdo con la invención, es necesario compensar la impedancia de los transistores para optimizar el circuito de generación de pulsos. En el ejemplo mostrado en la Fig. 5, cada transistor individual tiene una impedancia de  $\sim 3 \Omega$ . Por lo tanto, hay un total de  $\sim 15 \Omega$  en la pila de transistores. Por tanto, el coeficiente de reflexión se puede expresar como

60 
$$\Gamma = \frac{(R_{\Sigma} - Z_0)}{(R_{\Sigma} + Z_0)} = \frac{((R_L + nR_A) - Z_0)}{((R_L + nR_A) + Z_0)}$$

en donde  $R_{\Sigma}$  es la impedancia total del circuito y  $R_A$  es la impedancia de un transistor de avalancha de señal.

Esto explica la reflexión observada en los pulsos que se muestran en la Fig. 6, como  $r = 0,13$ , y la amplitud de pulso de reflexión es  $\sim 13\%$  del pulso primario ( $R_L = 50 \Omega$ ,  $nR_A = (3 \Omega \times 5) = 15 \Omega$  y  $Z_0 = 50 \Omega$ ). La impedancia adicional de  $nR_A$  también afecta al componente de CD del diseño, que se puede volver a escribir como:

$$5 \quad V_L = \left( \frac{R_L}{Z_0 + R_A + R_L} \right) V_{cc}$$

Teniendo esto en cuenta, se ajustó la impedancia de la carga  $R_L$  a  $35 \Omega$ . Esto resultó en un solo pulso monopolar en la carga con una reflexión nula y sin pulso secundario, como se muestra en la Fig. 7.

## 10 REFERENCIAS

- [1] W. Meiling y F. Sary, Nanosecond pulse techniques. Nueva York: Gordon y Breach, 1970, p. 304.
- [2] P. Yang, X. Zhou, Q.-g. Wang y M. Zhao, "Comparative analysis on the fast rising edge pulse source with two kinds of avalanche transistor," en Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference, Chengdu, 2013.
- 15 [3] G. Yong-sheng y colegas, "High-speed, high-voltage pulse generation using avalanche transistor," Review of Scientific Instruments, vol. 87, n.º 5, p. 054708, 2016.

**REIVINDICACIONES**

1. Un circuito de generación de pulsos para un generador electroquirúrgico, comprendiendo el circuito de generación de pulsos:
- 5 una fuente de voltaje que puede conectarse a una carga mediante un elemento de conmutación;  
una línea de transmisión coaxial de circuito abierto conectada entre el elemento de conmutación y la fuente de voltaje, para ser cargada por la fuente de voltaje cuando el elemento de conmutación está en un estado APAGADO y para ser descargada cuando el elemento de conmutación está en un estado ENCENDIDO,
- 10 en donde el elemento de conmutación comprende:
- una pluralidad de transistores de avalancha conectados en serie; y  
un generador de pulsos de activación configurado para generar un pulso de activación para activar la pluralidad de transistores de avalancha conectados en serie, y
- 15 en donde la impedancia de la línea de transmisión coaxial está configurada para coincidir con una suma de (i) la impedancia de la pluralidad de transistores de avalancha conectados en serie, y (ii) la impedancia de la carga.
2. Un circuito de generación de pulsos de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la línea de transmisión coaxial tiene una longitud que se selecciona para proporcionar un retardo de línea igual o menor que 5 ns.
- 20 3. Un circuito de generación de pulsos de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde la línea de transmisión coaxial se carga mediante la fuente de voltaje a través de una resistencia.
- 25 4. Un circuito de generación de pulsos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el generador de pulsos de activación comprende un dispositivo de TTL.
5. Un circuito de generación de pulsos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el pulso de activación tiene un voltaje menor que el voltaje de ruptura de emisor-base de cada uno de la pluralidad de transistores de avalancha.
- 30 6. Un circuito de generación de pulsos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el generador de pulsos de activación se conecta a la pluralidad de transistores de avalancha conectados en serie a través de un transformador.
- 35 7. Un circuito de generación de pulsos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el pulso de activación se aplica entre el colector y el emisor de un primer transistor de la pluralidad de transistores de avalancha conectados en serie.
- 40 8. Un circuito de generación de pulsos de acuerdo con la reivindicación 7, en donde el primer transistor está más alejado de la línea de transmisión coaxial.
9. Un circuito de generación de pulsos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde se conecta un diodo en paralelo con cada uno de la pluralidad de transistores de avalancha conectados en serie para fijar el voltaje a través de cada transistor de modo que sea menor que su voltaje de ruptura de base-colector.
- 45 10. Un circuito de generación de pulsos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde cada transistor de la pluralidad de transistores de avalancha conectados en serie es idéntico.
- 50 11. Un circuito de generación de pulsos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la carga es un instrumento electroquirúrgico.
12. Un generador electroquirúrgico que tiene un circuito de generación de pulsos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

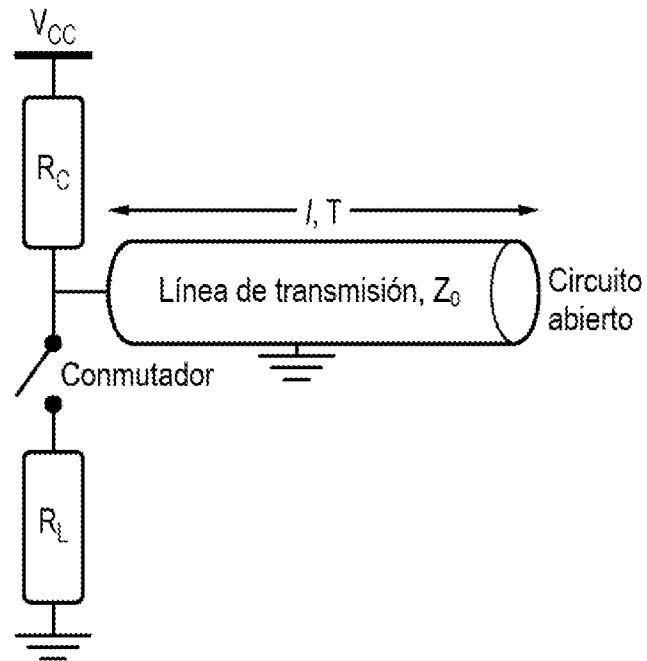


FIG. 1

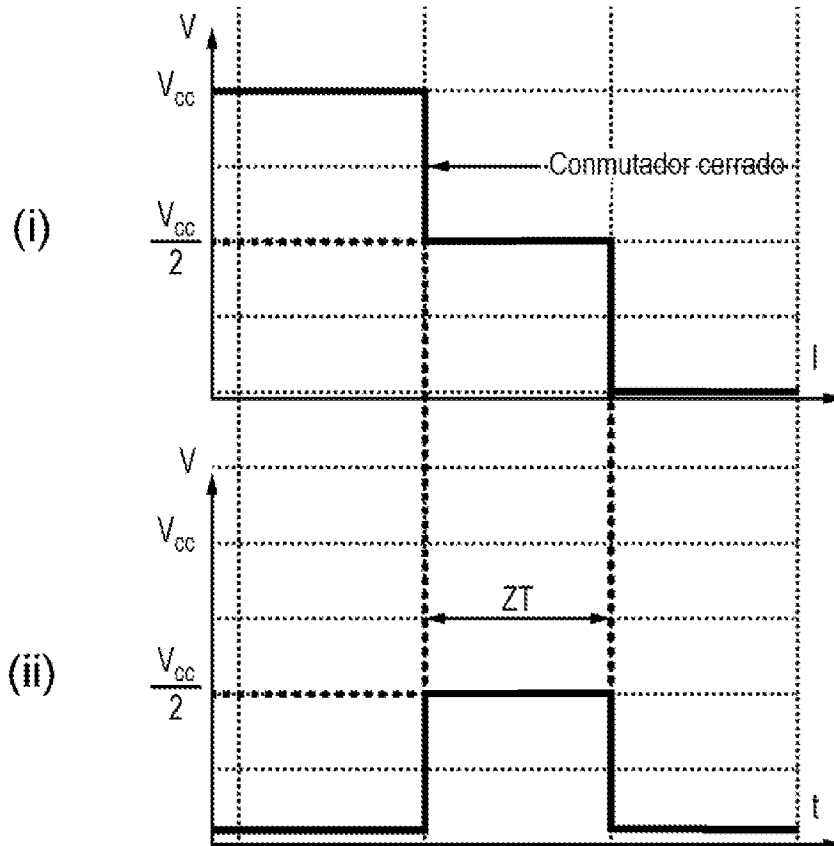


FIG. 2

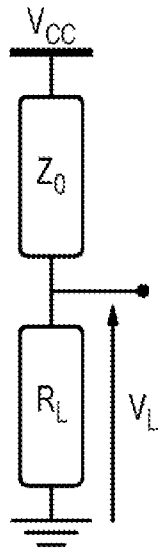


FIG. 3A

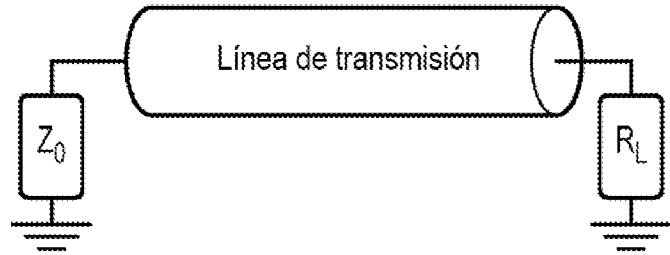


FIG. 3B

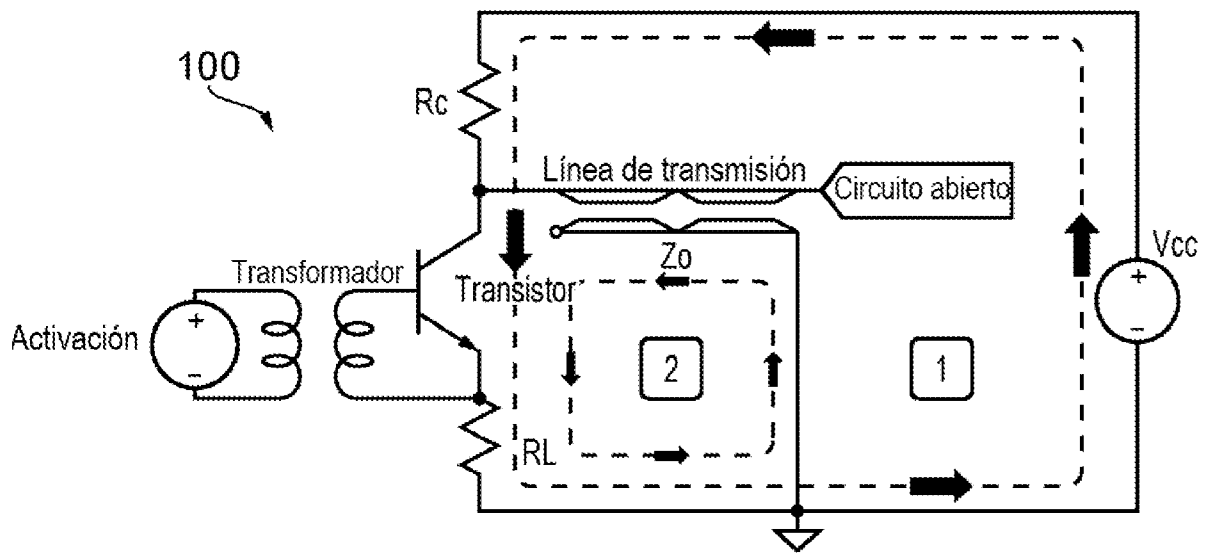


FIG. 4

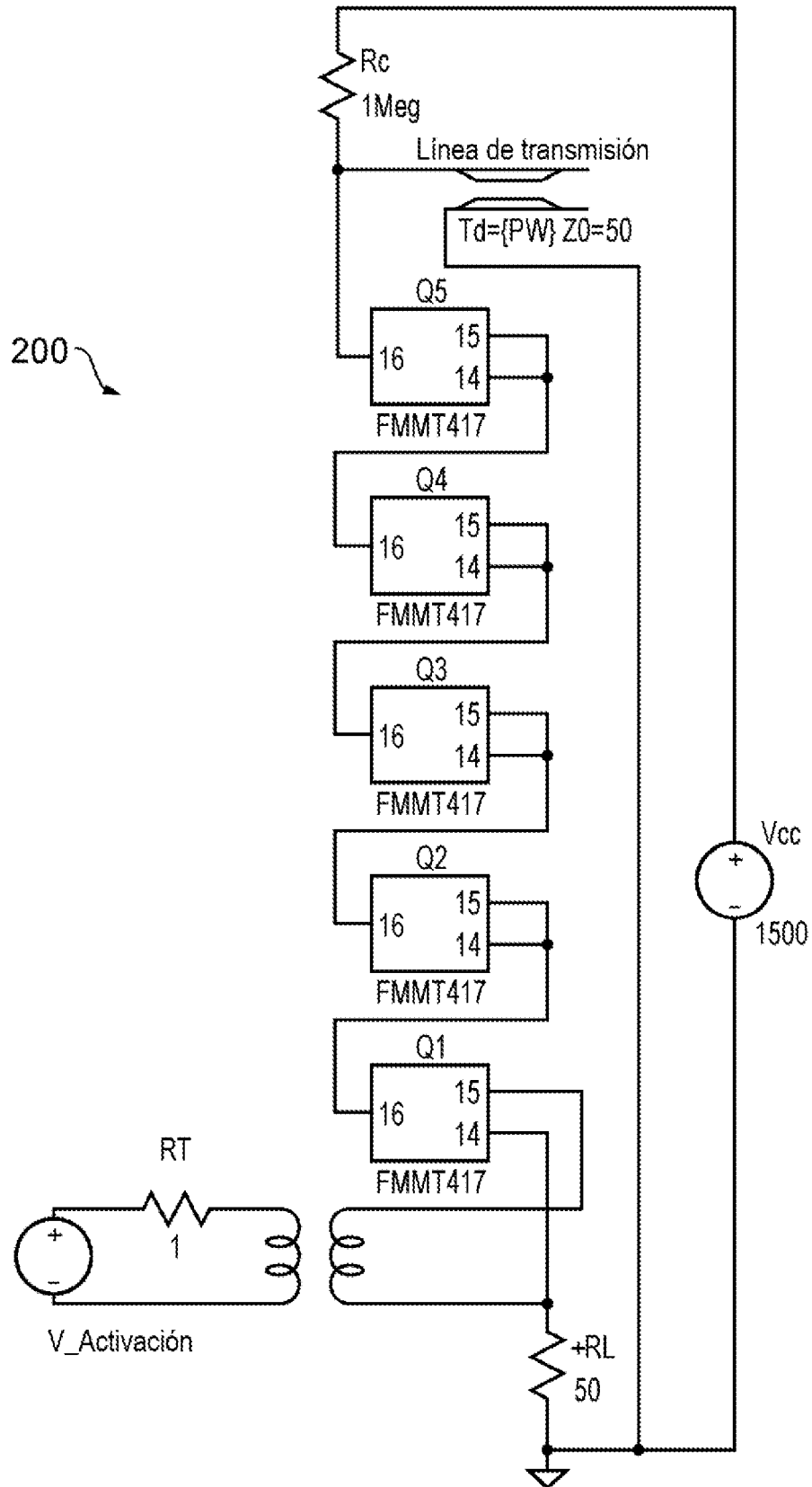


FIG. 5

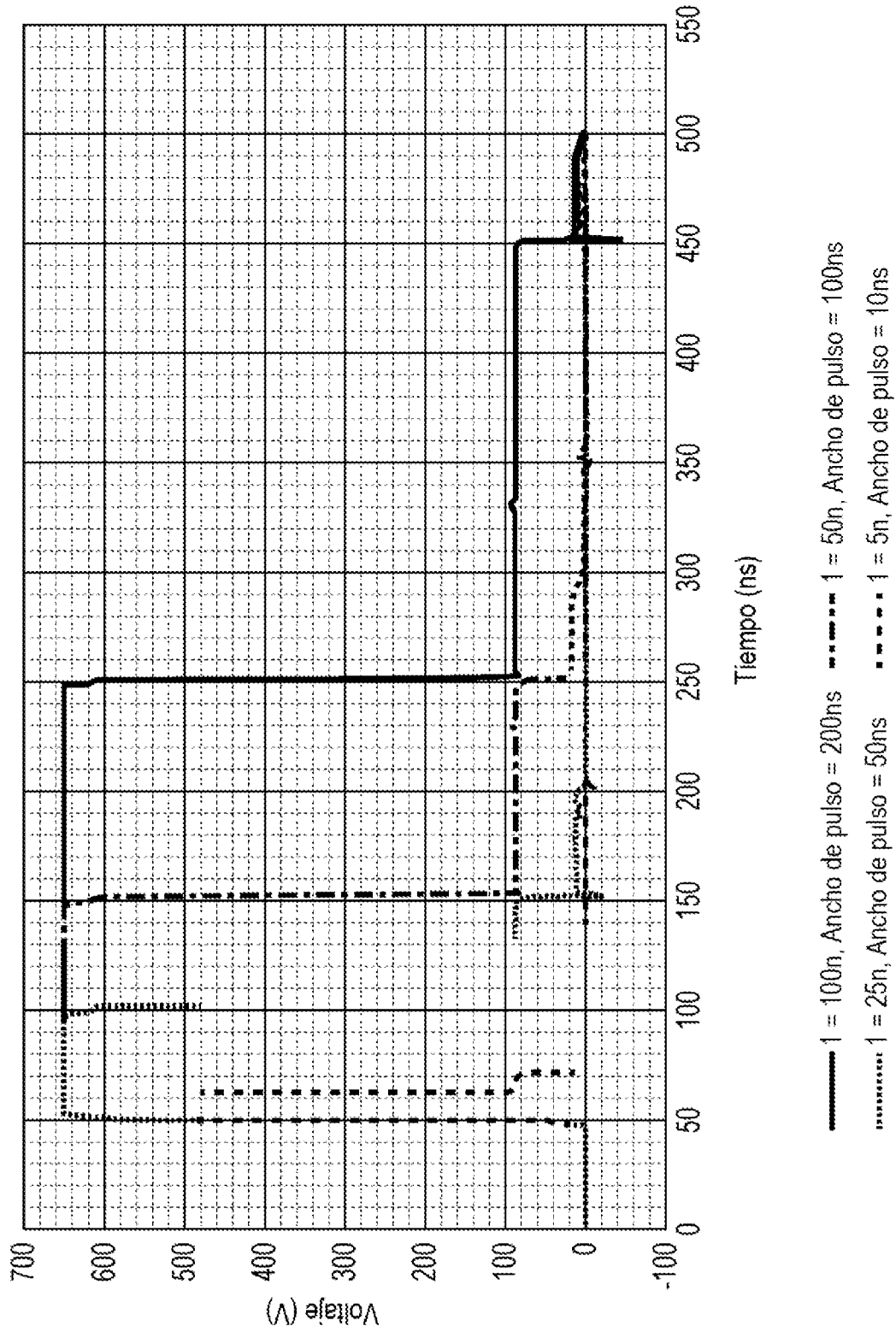


FIG. 6

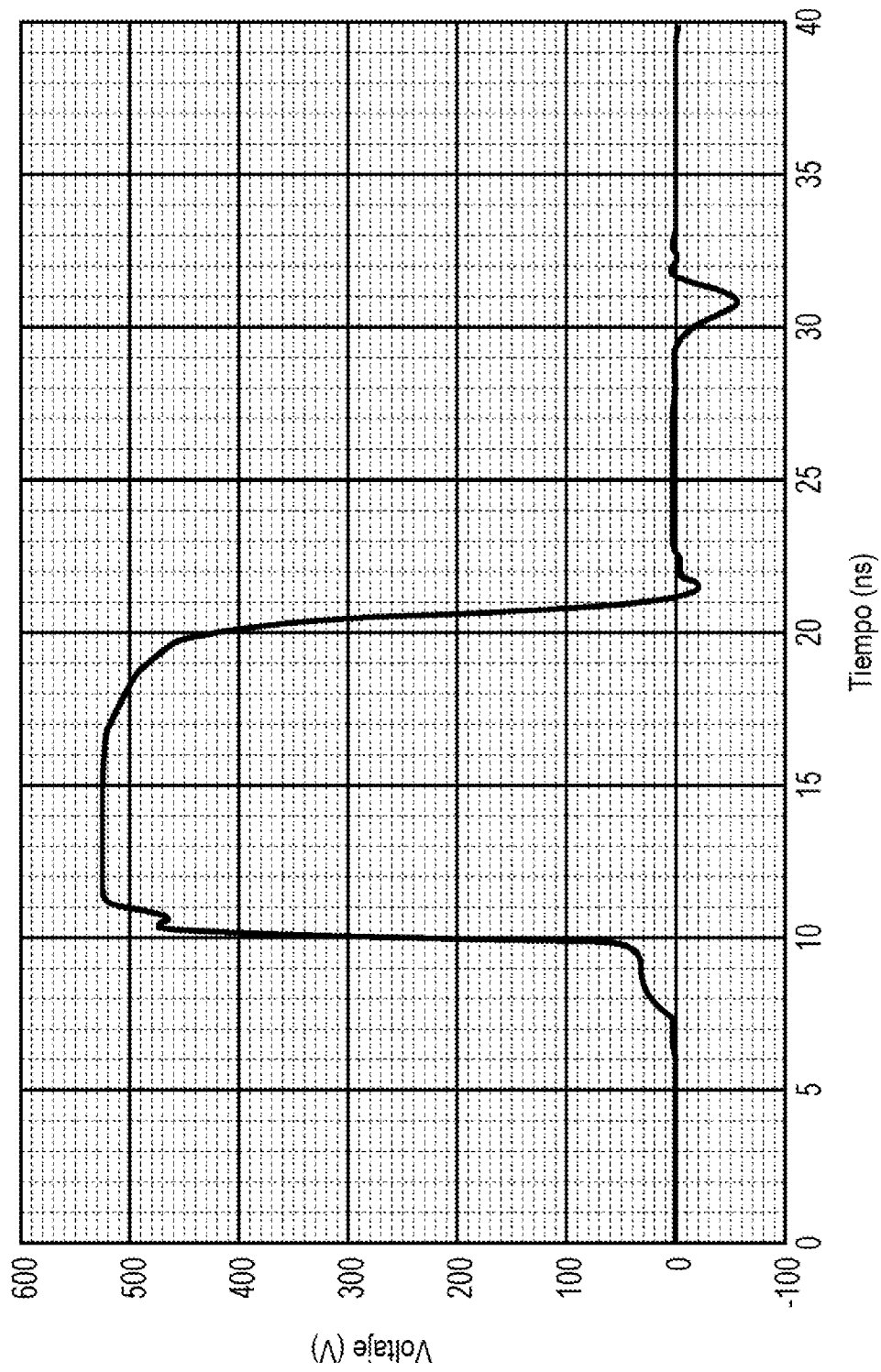


FIG. 7