

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 635 295**

51 Int. Cl.:

H01J 21/10 (2006.01)

H03F 3/44 (2006.01)

H05G 1/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.11.2009 PCT/US2009/064619**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.11.2010 WO10134935**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.11.2009 E 09845045 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.05.2017 EP 2433292**

54 Título: **Amplificador de tensión en cascada**

30 Prioridad:

18.05.2009 US 467974
18.05.2009 WO PCT/US2009/044410

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.10.2017

73 Titular/es:

ADVANCED FUSION SYSTEMS LLC (100.0%)
11 Edmond Road
Newtown, CT 06470, US

72 Inventor/es:

BIRNBACH, CURTIS A.

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 635 295 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

Amplificador de tensión en cascada

Campo de la invención

5 La invención se refiere a un amplificador de tensión en cascada de Clase A o Clase C para producir una salida amplificada en forma de impulsos o en forma continua.

Antecedentes de la invención

La producción de impulsos de alta tensión y alta energía es un requisito fundamental para muchas aplicaciones electrónicas modernas. Los circuitos de la técnica anterior para conseguir impulsos de este tipo incluyen:

1. Multiplicador de tensión Cockcroft-Walton
- 10 2. Generadores Marx
3. Moduladores de impulsos

Todos los circuitos de la técnica anterior, indicados anteriormente, tienen problemas para los cuales sería deseable una mejora.

15 El multiplicador de tensión Cockcroft-Walton es el tipo más simple de multiplicador de tensión. Construido por primera vez en 1932 por Cockcroft y Walton para experimentos físicos nucleares, está formado por una red escalonada de multiplicadores de tensión de condensadores y diodos para generar altas tensiones. A diferencia de los transformadores, un multiplicador de tensión Cockcroft-Walton no usa un transformador de núcleo ferromagnético. Usando solo un oscilador, condensadores y diodos, estos multiplicadores de tensión pueden aumentar tensiones relativamente bajas a valores extremadamente altos, mientras que al mismo tiempo son mucho más ligeros y baratos que los transformadores.

20 En dichos multiplicadores de tensión, la tensión a través de cada etapa de la cascada es igual a solo dos veces el voltaje de entrada de pico, de manera que tiene la ventaja de usar componentes de coste relativamente bajo.

25 Sin embargo, el multiplicador de tensión Cockcroft-Walton tiene una serie de inconvenientes. A medida que se aumenta el número de etapas, las tensiones de las etapas superiores empiezan a 'disminuir' principalmente debido a la impedancia de CA de los condensadores en las etapas inferiores. Cuando se suministra una corriente de salida, el rizado o la fluctuación de la tensión aumenta rápidamente a medida que se aumenta el número de etapas. Por estas razones, los multiplicadores de tensión Cockcroft-Walton con un gran número de etapas se usan típicamente solo cuando se requiere una corriente de salida relativamente baja. Por lo tanto, sería deseable proporcionar un circuito para conseguir un impulso de alta tensión que evite dichos inconvenientes.

30 El generador Marx es un tipo de circuito de multiplicación de tensión, más avanzado, que depende de la carga de una pluralidad de condensadores en paralelo y, a continuación, de su descarga en serie. La operación de conmutación paralelo-serie se lleva a cabo normalmente usando descargadores como interruptores. Se usa extensamente para simular los efectos de impactos de rayos durante ensayos de alta tensión y de equipos aeronáuticos. Los descargadores se colocan tan juntos como sea posible para un máximo intercambio de luz ultravioleta (UV) entre los mismos (emitida por los arcos) para una fluctuación ("jitter") mínima.

35 Entre los inconvenientes del generador Marx, bien conocido, es que adolece de problemas de fiabilidad debido al desgaste en los interruptores de tipo descargador, causando una operación irregular y un aumento de la cantidad de la fluctuación. Estos problemas son una seria desventaja. Sería deseable proporcionar un circuito para conseguir un impulso de alta tensión que evite los problemas de fiabilidad y fluctuación indicados anteriormente.

40 Un tercer circuito de la técnica anterior para generar impulsos de alta tensión se conoce como un modulador de impulsos. Fue desarrollado originalmente durante la Segunda Guerra Mundial como fuentes de alimentación para sistemas de radar. El modulador de impulsos incorpora una Red Formadora de Impulsos (Pulse Forming Network, PFN), que acumula energía eléctrica a lo largo de un tiempo comparativamente largo y, a continuación, libera la energía almacenada en la forma de un impulso nominalmente cuadrado de duración comparativamente corta, para diversas aplicaciones de energía pulsada. En la práctica, una PFN se carga por medio de una fuente de energía de alta tensión, a continuación, se descarga rápidamente en una carga a través de un conmutador de alta tensión, tal como un descargador o un tiratrón de hidrógeno. Aunque las PFNs consisten normalmente en una serie de condensadores e inductores de almacenamiento de energía de alta tensión, pueden consistir también en solo uno o más condensadores. Estos componentes se interconectan como una "red escalonada" que se comporta de manera similar a una longitud de una línea de transmisión. Tras una orden, un conmutador de alta tensión transfiere a continuación la energía almacenada dentro de la PFN a la carga.

45

50 Cuando el conmutador se "activa" (se cierra), la red de condensadores e inductores dentro de la PFN crea un impulso de salida nominalmente cuadrado de corta duración y alta energía. Este impulso de alta energía se convierte en una breve

fuelle de alta tensi3n para la carga. En la mayorla de los circuitos moduladores de impulsos, se conecta un transformador de impulsos dise1ado especialmente entre la PFN y la carga para mejorar la adaptaci3n de impedancia entre la PFN y la carga, con el fin de mejorar la eficiencia de transferencia de energla. Tlpicamente se requiere un transformador de impulso como este cuando se accionan dispositivos de impedancias m1s altas, tales como klistrones o magnetrones, desde una PFN. Debido a que la PFN se carga durante un tiempo relativamente largo y, a continuaci3n, se descarga durante un tiempo muy corto, el impulso de salida puede tener una energla pico de megavatios.

Los moduladores de impulso est1n limitados por el requisito de un transformador de impulsos, que es lento, voluminoso y sujeto a saturaci3n. Serla deseable proporcionar un circuito para conseguir un impulso de alta tensi3n que evite dichos inconvenientes.

Tambi3n se conoce en la t3cnica anterior que los amplificadores de Clase A pueden configurarse en cascada para su uso con se1ales RF de onda continua (por ejemplo, sinusoidal). Sin embargo, dichos amplificadores en cascada de la t3cnica anterior tienen los inconvenientes de ser voluminosos e ineficientes. Serla deseable proporcionar amplificadores de Clase A en cascada que sean m1s peque1os y m1s eficientes.

La activaci3n de los tubos electr3nicos es el procedimiento mediante el cual el c1todo se convierte a partir de su estado fabricado en un emisor de electrones en funcionamiento. Tlpicamente, este procedimiento implica extraer corriente desde el c1todo a trav3s del 1nodo, mientras el tubo est1 todavla conectado a un sistema de bombeo al vaclo. La implementaci3n especflca varla con el tipo de c1todo usado. La activaci3n requiere suministrar tensiones de funcionamiento iguales o mayores que las que se encuentran normalmente en el funcionamiento del tubo. La activaci3n tiene lugar mientras el tubo est1 todavla conectado a un sistema externo de bombeo de vaclo. Esto se hace para facilitar la retirada de las impurezas liberadas desde el c1todo mediante el procedimiento de activaci3n. En el caso de tubos de tensi3n muy alta, el coste de las fuentes de alimentaci3n adecuadas es muy alto. Por lo tanto, serla deseable minimizar el coste de las fuentes de alimentaci3n de alta tensi3n y simplificar y acelerar el procedimiento de fabricaci3n.

Un amplificador de tensi3n en cascada seg1n el pre1mbulo de la presente reivindicaci3n 1 se describe en cualquiera de los documentos GB 877019, US 2474435, US 3024423 y US 7345537 B2.

25 Breve sumario de la invenci3n

La invenci3n proporciona un amplificador de tensi3n en cascada seg1n la presente reivindicaci3n 1.

El amplificador de tensi3n en cascada anterior evita los inconvenientes de rizado de tensi3n del multiplicador de tensi3n Cockcroft-Walton cuando se suministra una corriente de salida con varias etapas. Tambi3n evita los problemas de fiabilidad y de fluctuaci3n de los generadores Marx. Evita adem1s los inconvenientes de los moduladores de impulsos relacionados con la inclusi3n de un transformador de impulsos, lento y voluminoso, y su susceptibilidad a la saturaci3n.

Otro aspecto que no forma parte de la presente invenci3n se refiere a un procedimiento para activar una pluralidad de etapas de tubos electr3nicos en cascada dentro de un recinto de vaclo com1n. El procedimiento comprende interconectar en serie la pluralidad de etapas de tubos electr3nicos en cascada, desde una etapa no final a una etapa final, de manera que en cada etapa no final se conecta un electrodo a un electrodo de una etapa subsiguiente mediante una llna de interconexi3n el3ctrica respectiva. Al menos una de dichas llnas de conexi3n el3ctrica respectiva comprende una estructura de enlace para unir el3ctrica y mec1nicamente un electrodo de una etapa previa con un electrodo de una etapa subsiguiente. La pluralidad de etapas de tubo electr3nico en cascada es colocada dentro del recinto de vaclo y se evac1a aire del recinto. Se proporciona una tensi3n el3ctrica entre el c1todo y el 1nodo de una primera etapa conectada en serie con el fin de suministrar energla el3ctrica a la primera etapa. Una cantidad suficiente de dicha energla se propaga en serie a trav3s de cualquier etapa intermedia a la etapa final con el fin de facilitar la activaci3n de todas las etapas de tubo.

El procedimiento indicado anteriormente evita los inconvenientes del procedimiento de la t3cnica anterior para activar los tubos individuales indicados anteriormente. Esto se lleva a cabo usando, en una forma preferida, solo una 1nica fuente de alimentaci3n para activar casi simult1neamente todas las etapas de entre las etapas de los tubos electr3nicos en cascada. La fuente de alimentaci3n solo necesita satisfacer el requisito de tensi3n de la primera etapa de tubo, ya que la tensi3n incrementada requerida para cada etapa sucesiva es proporcionada por la ganancia de tensi3n de la etapa precedente. Esto evita la necesidad de fuentes de alimentaci3n m1s grandes y m1s costosas para las etapas sucesivas, y de estaciones de evacuaci3n m1s grandes y sustancialmente m1s complejas que implican, por ejemplo, el uso de conexiones pasantes m1s grandes que requieren entonces un recinto de vaclo m1s grande y mayores requisitos de bombeo de vaclo y de calentamiento.

50 Breve descripci3n de los dibujos

En los dibujos, en los que los n1meros de referencia similares se refieren a partes similares:

La Fig. 1 muestra un diagrama esquem1tico de un amplificador de tensi3n en cascada para proporcionar una salida amplificada en la forma de onda por impulsos o continua, seg1n un aspecto de la invenci3n;

Las Figs. 2A y 2B muestran vistas en planta superior y transversales asociadas simplificadas de un triodo de emisión de campo de cátodo frío de alta tensión que puede ser usado en la invención, en la que la Fig. 2B es tomada según las flechas 2B-2B en la Fig. 2A;

5 Las Figs. 2C y 2D muestran vistas similares a las Figs. 2A y 2B, pero para un tubo electrónico de emisión de campo de cátodo frío de alta tensión, modificado, que puede ser usado en la invención, en la que la Fig. 2D es tomada según las flechas 2D-2D en la Fig. 2C;

La Fig. 3 es una vista en perspectiva simplificada, parcialmente recortada, de partes clave de un amplificador de tensión en cascada de tres etapas, integrado, con diversas partes omitidas en aras de la claridad, según un aspecto de la invención;

10 La Fig. 4 es una vista en planta lateral simplificada, parcialmente en sección transversal, de las partes clave de un amplificador de tensión en cascada de la Fig. 3, tomada según las flechas 4-4 en la Fig. 3, con diversas partes omitidas en aras de la claridad.

La Fig. 5 es una vista en planta lateral detallada de una estructura de enlace mostrada en las Figs. 3 y 4, junto con un inductor ("choke") de ferrita inter-etapas añadido;

15 La Fig. 6 es una vista de un diagrama de bloques de un esquema para activar un amplificador de tensión en cascada integrado; y

La Fig. 7 es una vista de un diagrama de bloques de un número variable de etapas de un amplificador de tensión en cascada según la invención.

Descripción detallada de la invención

20 Esta descripción describe los tres aspectos de (1) topología de circuito, (2) implementación de circuito preferida, y (3) procedimiento de activación de tubos electrónicos en cascada.

1. Topología de Circuito

25 La Fig. 1 muestra un amplificador 10 de tensión en cascada (CVA) configurado como un interruptor, y como un circuito amplificador de Clase A modificado. El funcionamiento del amplificador de Clase A se describe más adelante. El CVA 10 incluye las terminales 12 de entrada y 14 de salida y una tierra 16 física según la buena práctica del diseño de RF. Para los propósitos de la descripción siguiente, el CVA 10 está diseñado para proporcionar una salida de más de 1.000 voltios.

30 La versión particular de CVA 10 mostrada consiste en tres etapas 18a, 18b y 18c. La primera etapa 18a incluye un tubo 20a de emisión de campo de cátodo frío con configuración en triodo y tiene una rejilla derivada a una condición de espera mediante un resistor 27a, que es preferiblemente variable. Un inductor 21, conocido como un inductor anti-rebote, bloquea los impulsos inversos y evita que lleguen a un condensador 28 negativo de alta tensión y cargue una fuente de alimentación (no mostrada) conectada al terminal 12 de entrada. Un diodo de bloqueo (no mostrado) puede aumentar esta función. Una resistencia 24a y un condensador 26a forman una red RC para establecer una constante de tiempo para soportar la conducción del tubo 20a.

35 Durante el funcionamiento, un condensador 28 de almacenamiento de energía se carga desde la tensión entre el terminal 12 de entrada y la tierra 16 de RF. El tubo 20a electrónico de triodo de emisión de campo de cátodo frío junto con el inductor 22a, la resistencia 24a, el condensador 26a y la resistencia 27a variable realizan funciones dobles. Estos tubos electrónicos se usan tanto para formar un impulso como para amplificarlo entre 3dB y 10dB, dependiendo de la ganancia del tubo 20a según la fabricación. Los pares 19a, 19b, 19c y 19d de forma de onda ilustran la ganancia de cada etapa del CVA 10. En cada par 19a-19d de forma de onda, la forma de onda superior representa una señal sinusoidal, que es un modo de funcionamiento para el CVA 10, y la forma de onda inferior representa una señal de impulso, que es otro modo de funcionamiento. El par 19a de forma de onda representa la entrada del CVA 10; el par 19b representa la salida de la 1ª etapa que alimenta la entrada de la 2ª etapa; el par 19c representa la salida de la 2ª etapa que alimenta la entrada de la etapa final; y el par 19d representa la salida del CVA 10.

45 Las etapas 18b y 18c subsiguientes tienen una función similar a la etapa 18a descrita anteriormente y cada una está configurada para funcionar como un circuito amplificador de Clase A. Las diferencias clave se encuentran en las tensiones nominales de las diferentes etapas. Las tensiones nominales de los componentes del CVA 10 deben ser proporcionales a las tensiones previstas en cada etapa del amplificador. De manera similar, los tubos 18b y 18c tienen un tamaño progresivamente mayor para acomodar el incremento de tensión.

Todas las etapas del circuito se conectan a una tierra 16 de RF común según la buena práctica de diseño de RF.

50 Cabe señalar que es posible alcanzar tensiones más altas añadiendo etapas adicionales en serie con el circuito principal.

5 Debe tenerse cuidado de asegurar que las tensiones nominales y las especificaciones de aislamiento sean proporcionales a las tensiones que se encontraran. Las dimensiones principales de cada etapa aumentan de manera lineal para acomodar la tensión más alta sin producir chispas. Las dimensiones principales incluyen espacios entre electrodos y la longitud y el diámetro de los electrodos. Una consecuencia del uso de más de dos etapas es que el tiempo de subida del CVA 10 se degrada a medida que se aumenta el número de etapas.

No es raro colocar un circuito de este tipo en un tanque de aceite aislante o en un tanque de gas aislante a alta presión en aras de una mayor fiabilidad. Los aceites aislantes de transformador adecuados son Shell Diala AX Oil Company de Houston Texas, o equivalentes. El gas aislante de transformador adecuado es hexafluoruro de azufre (SF₆) disponible en Air Products and Chemicals, Inc. de Allentown, Pennsylvania, o equivalentes.

10 Con respecto al rendimiento de los tubos de emisión de campo de cátodo frío de configuración en triodo, es posible controlar la sobre ganancia del CVA estableciendo la ganancia de cada etapa durante la fabricación de los propios tubos. Para el circuito CVA, las ganancias de tubo individuales en el rango de 3dB a 10dB proporcionan un funcionamiento extremadamente estable. Los tubos pueden ser fabricados de manera que tengan ganancias individuales tan altas como 20 dB, pero es difícil evitar que el circuito oscile o varíe. Esto puede superarse mediante un cuidadoso diseño del circuito, pero esto aumenta el número de componentes y causa una reducción proporcional en el tiempo de subida máximo como resultado de la mayor inductancia del circuito.

15 Los tubos 20a, 20b y 20c de emisión de campo de cátodo frío se muestran conectados directamente en serie entre sí, pero no siempre se desea una conexión directa en serie. Por ejemplo, pueden interponerse elementos de circuito intermedios, tales como una inductancia, entre los tubos 20a, 20b y 20c. Por ejemplo, la adición de inductancias entre las etapas resulta en impulsos más largos que tienen aplicación en radar, obtención de imágenes médicas, litotricia, etc. Una manera de añadir inductancia es mediante la colocación de un inductor de ferrita hueco (no mostrado) sobre la interconexión eléctrica entre las etapas del CVA 10. Esto es eléctricamente equivalente a insertar un inductor convencional en el circuito en el mismo punto.

20 Los detalles del funcionamiento de Clase A de las etapas 18a-18c del CVA 10 de la Fig. 1 son como sigue. Los amplificadores de Clase A se derivan de manera que se produzcan variaciones en las polaridades de la señal de entrada dentro de los límites del punto de corte y de saturación. Con un tubo electrónico de triodo, por ejemplo, si la rejilla se hace positiva con respecto al cátodo, los electrones serán repelidos por la rejilla y no puede fluir corriente en el circuito de ánodo. Esta condición se conoce como punto de corte. La saturación ocurre cuando la rejilla se hace tan negativa con respecto al emisor que los cambios en la señal no se vean reflejados en el flujo de la corriente de ánodo.

25 La derivación de un amplificador en esta manera coloca el punto de funcionamiento CC entre el punto de corte y la saturación y permite que la corriente de ánodo fluya durante el ciclo completo (360 grados) de la señal de entrada, proporcionando de esta manera una salida que es una réplica de la entrada. La salida desde este amplificador está 180 grados fuera de fase con la entrada, la corriente de salida todavía fluye durante la duración completa de la entrada.

30 Los amplificadores de Clase A no se consideran circuitos de alta eficiencia cuando se usan en circuitos sinusoidales típicamente de onda continua (Continuous Wave, CW). El amplificador de Clase A está caracterizado por su amplificación altamente precisa de la señal de entrada. Cuando se usa en la amplificación de impulsos ultra-cortos, tal como se encuentra en la presente invención, se aumenta la eficiencia. Esto es debido a la diferencia entre el funcionamiento CW y el de impulsos. En el funcionamiento CW, la etapa de salida se encuentra en conducción continua y, como resultado, el circuito consume continuamente energía. En el funcionamiento de impulsos ultra-cortos, la situación es diferente. Las etapas de salida se encuentran solo en conducción durante el periodo de tiempo en el que está presente el impulso y, como resultado, la eficiencia del circuito es muy alta. En diseños de impulsos ultra-cortos de banda ancha, el funcionamiento acoplado CC se lleva a la práctica sin la necesidad de grandes condensadores encontrados comúnmente en este tipo de circuito. Tal como se usa en la presente memoria, un impulso ultra-corto es uno que tiene un tiempo de subida de aproximadamente más de 10-20 nanosegundos.

35 La combinación de las características del párrafo anterior hace que el amplificador de Clase A sea muy adecuado para aplicaciones de amplificación de impulsos. Históricamente, se ha usado en circuitos de radar, pero los impulsos en esos circuitos son sustancialmente más grandes que los impulsos contemplados por la presente invención.

40 Además de usar técnicas de emisión de campo de cátodo frío con un CVA, es posible implementar el CVA usando tubos electrónicos con cátodos termiónicos y fuentes electrónicas filamentosas. El uso de este tipo de tubo electrónico impone limitaciones significativas en el rendimiento del circuito, principalmente en términos de las especificaciones de gestión de la corriente y gestión de la tensión global.

45 Aunque la descripción anterior se ha hecho referencia a la creación de impulsos de alta tensión, es posible hacer funcionar el amplificador de tensión en cascada en señales continuas (por ejemplo, sinusoidales). De esta manera, pueden conseguirse señales de salida, de alta ganancia, continuas, de una manera compacta y eficiente.

2. Implementación de circuito preferida

Las Figs. 2A y 2B muestran la estructura básica de un triodo 30 de emisión de campo de cátodo frío de alta tensión que se usa preferiblemente para implementar tubos 20a-20c de emisión de campo de cátodo frío en el circuito de la Fig. 1. El triodo 30 se conoce también como Pulsatrón, tal como se describe en el documento US 4.950.962 del presente inventor y otros. El tamaño del Pulsatrón se escala para funcionar en el modo continuo a una tensión deseada. El triodo 30 incluye un cátodo 32 conformado cilíndricamente que está rodeado por una rejilla 34 conformada cilíndricamente que, a su vez, está rodeada por un ánodo 36 conformado cilíndricamente. La rejilla 34 se muestra como líneas punteadas para indicar que tendría orificios adecuados para el paso de electrones a través de los mismos. El ánodo 36, la rejilla 34 y el cátodo 32 comparten un eje principal común (no mostrado). La separación radial desde el cátodo 32 a la rejilla 34 es tal que no se cree entre los mismos una guía de ondas circular que soporta el modo electromagnético transversal (TEM). En las Figs. 2A y 2B, de manera ejemplar, el cátodo 32 comprende un material de grafito, la rejilla 34 comprende un metal conductor, tal como una aleación de níquel, y el ánodo 36 comprende un metal refractario, tal como tungsteno.

Las Figs. 2C y 2D muestran la estructura básica de otro triodo 40 de emisión de campo de cátodo frío de alta tensión de la Fig. 2C que puede implementar tubos 20a-20c de emisión de campo de cátodo frío en el circuito de la Fig. 1. Dicho triodo se conoce también como Pulsatrón, tal como se describe en el documento US 4.950.962 del presente inventor y otros. El triodo 40 incluye un ánodo 42 conformado cilíndricamente. El ánodo 42 circundante es una rejilla 44 conformada cilíndricamente que, a continuación, es rodeada por un cátodo 46 hueco conformado cilíndricamente. La rejilla 44 se muestra en líneas punteadas para indicar que tendría orificios adecuados para el paso de electrones a través de la misma. El ánodo 42 y el cátodo 46 y la rejilla 44 comparten un eje principal común (no mostrado). La separación radial desde el cátodo 46 a la rejilla 44 es tal que se crea entre los mismos una guía de ondas circular que soporta el modo electromagnético transversal (TEM). En las Figs. 2C y 2D, de manera ejemplar, el cátodo 46 comprende un material de grafito, y el ánodo 42 y la rejilla 44 comprenden un metal conductor, tal como aleaciones altas en níquel.

Existen diversas condiciones críticas que deben satisfacerse cuando se diseña una rejilla para un tubo electrónico de emisión de campo de cátodo frío. Estas son:

- (1) La separación rejilla-cátodo o rejilla-ánodo debe ser constante a lo largo de la longitud de la rejilla. Esto se consigue normalmente colocando la rejilla bajo alta tensión o construyéndola con una estructura rígida.
- (2) El número de elementos en la rejilla debe ser suficientemente alto para asegurar un campo eléctrico constante y uniforme en la región rejilla-cátodo o rejilla-ánodo.
- (3) No debe haber bordes agudos de rebabas en ninguna parte de la estructura de rejilla. Por el contrario, los elementos individuales pueden ser de formas redondas, planas o elípticas de alta relación de aspecto. Todos los bordes deben ser completamente redondeados. En este contexto, completamente redondeado se refiere a que el borde en cuestión tenga un radio igual a la mitad del espesor del material.

La presente implementación de estas reglas de diseño viene determinada por el tamaño de la rejilla a construir.

Las Figs. 3 y 4 muestran partes clave de un amplificador 50 de tensión en cascada (CVA) según un aspecto de la invención. Con referencia a ambas figuras, un recinto 52 de vacío de aleación de níquel incluye, por ejemplo, las etapas 54 y 56 no finales y la etapa 58 final del amplificador 50. Tal como se muestra mejor en la Fig. 4, el CVA 50 incluye la entrada 59a del cátodo de la primera etapa y el aislante 59b asociado, y la salida 59c del ánodo de la última etapa y la parte 59d de aislante asociada del aislante 53 dieléctrico.

Las ventajas del uso de un recinto 52 de vacío común para todas las tres etapas incluyen la eficiencia de fabricación, el tamaño compacto y el menor coste. Sin embargo, hay algunas situaciones en las que no es deseable, necesario o útil colocar los tubos electrónicos dentro de un recinto de vacío común. Las condiciones que garantizarían la exclusión de un recinto de vacío común incluyen, pero no se limitan a: circuitos en los que no se considera un rápido tiempo de subida, circuitos en los que se desarrollan tensiones extremadamente altas que necesitarían un recinto muy grande, circuitos en los que no es deseable una instalación lineal y circuitos prototipo.

Una etapa 56 no final incluye un ánodo 56a, una rejilla 56b y un cátodo 56c roscado internamente, que pueden conformarse al ánodo 36, la rejilla 34 y el cátodo 32 roscado internamente en las Figs. 2A y 2B. Una estructura 62 de enlace no final soporta el ánodo 56a de la etapa 56 no final y soporta además el cátodo 58c de la etapa 58 subsiguiente. La estructura 62 de enlace tiene generalmente la forma de un tenedor de dos puntas en un extremo, con ambas puntas 62a y 62b visibles en la Fig. 4, y un soporte 62d de cátodo en la forma de un pasador roscado para montar el cátodo, y un hemisferio 62e eléctricamente conductor y refractario para retener el cátodo sobre el pasador roscado que se observa más fácilmente en la Fig. 5. El hemisferio 62e conductor y refractario tiene una segunda función de inhibir la emisión final del cátodo. En un CVA integrado alternativo que usa el cátodo 46, una rejilla 44 y un ánodo 42 de las Figs. 2C y 2D, el ánodo 42 situado centralmente puede ser integrado sin espacio en la estructura 62 de enlace. Esto puede llevarse a cabo fundiendo la estructura 62 de enlace y el ánodo 42 como una sola pieza, en lugar de montar la estructura de enlace

soldando entre sí los componentes individuales.

En un extremo axial de la estructura 62 de enlace (a lo largo del eje del cátodo 56c), la estructura 62 de enlace está conectada a un anillo 62c, preferiblemente realizado mediante fundición como una pieza en un molde hasta casi la forma exacta y subsiguientemente mecanizado a las dimensiones finales. De manera beneficiosa, la fundición como una sola pieza resulta en señales de salida que tienen alta fidelidad con relación a las señales de entrada y un funcionamiento de alta velocidad. Los procedimientos de construcción alternativos incluyen la mecanización a partir de materiales de partida o el montaje a partir de partes mecanizadas, que normalmente requieren soldadura con defectos y falta de uniformidad superficiales resultantes que deben quitarse mediante mecanizado.

El anillo 62c tiene roscas internas de típicamente 35 por centímetro, en las que se enrosca el ánodo 56a. El extremo derecho de la estructura 62 de enlace termina en un soporte 62d de cátodo para la etapa 58 final. Preferiblemente, la estructura 62 de enlace que incluye el anillo 62c y el soporte 62d de cátodo forman una estructura continua integral y sin espacio, como resultado de estar formado como una sola pieza en un molde. La estructura 62 de enlace, incluyendo el anillo 62c y la estructura 62d de soporte de cátodo se forman preferiblemente en una aleación de níquel. Preferiblemente, la estructura 62 de enlace es una línea de transmisión eléctrica a lo largo de toda su longitud. Esto significa que la parte de la línea de transmisión de la estructura 62 de enlace es mayor que 1/10 de la longitud de onda del impulso. A esta longitud, el retardo de fase y la interferencia de cualquier reflexión sobre la línea se vuelven importantes y pueden conducir a comportamientos impredecibles en sistemas que no han sido diseñados cuidadosamente usando la teoría de líneas de transmisión.

Tal como se muestra mejor en la Fig. 4, un aislante 68 cerámico de forma generalmente hemisférica tiene una ranura 68a orientada hacia la derecha para recibir una región convexa de la estructura 62 de enlace, y tiene un reborde 68b para cubrir la periferia interior del extremo derecho del ánodo 56a.

Con referencia a las Figs. 3 y 4, las conexiones eléctricas a la etapa 56 no final a través del recinto 52 de vacío se realizan mediante: conexión 72a pasante intermedia, conectada al cátodo 56c (Fig. 3) de la etapa 56 (y también al ánodo 54a de la etapa 54); conexión 72b pasante de la rejilla y conexión 72c pasante intermedia conectada al ánodo 56a de la etapa 56 (y también el cátodo 58c de la etapa 58). Una conexión 74 pasante de rejilla permite el acceso eléctrico a la rejilla 58b de la etapa 58 final, y una conexión 76 pasante de rejilla permite el acceso eléctrico a la rejilla 54b (Fig. 3). Las bombas 78 de captación de productos químicos y las conexiones pasantes asociadas se muestran también en la Fig. 4. Como es costumbre, todas las conexiones pasantes están selladas al vacío y aisladas eléctricamente con material dieléctrico. El CVA 10 integrado incluye otras características comunes a todos los tubos de vacío, tales como una tubulación 79 de evacuación, y puede incluir una bomba de vacío activa, si se desea.

La Fig. 3 omite varios elementos en aras de la claridad, por ejemplo, muestra solo la conexión 72b pasante de la rejilla en lugar de todas las conexiones pasantes mostradas en la Fig. 4. Se omiten también, en aras de la claridad, en las Figs. 3 y 4, los elementos de soporte dieléctricos para posicionar de manera exacta y para soportar los diversos elementos tubulares internos. La inclusión de dichos elementos de soporte será rutinaria para las personas con conocimientos ordinarios en la materia.

Normalmente, el tiempo de subida del CVA 10 viene determinado solo por el tiempo de subida de la etapa 58 final. Sin embargo, en aplicaciones de circuito en las que es deseable ralentizar o extender deliberadamente la amplitud de impulso de un impulso de entrada, es posible colocar un inductor de ferrita sobre el elemento de línea de transmisión de interconexión. Por ejemplo, tal como se muestra en la Fig. 5, un inductor 82 de ferrita interpuesto entre un par 84a, 84b podría ser colocado sobre la estructura 62d de soporte del cátodo. A continuación, se proporcionan detalles adicionales de un inductor de ferrita.

Un inductor de ferrita es un elemento de circuito electrónico no resistivo que consiste en compuestos ferromagnéticos que contienen hierro y cantidades menores de óxidos de níquel, zinc o magnesio. Las propiedades de impedancia del inductor de ferrita le permiten actuar con una alta resistencia a señales de alta frecuencia, y con una baja resistencia a señales de frecuencia más baja. De esta manera, se suprime el ruido de alta frecuencia y la energía absorbida es convertida en una cantidad muy pequeña de calor. El tipo de material de ferrita usado en el lecho determinará la frecuencia de funcionamiento, y las dimensiones físicas y la forma del inductor de ferrita determinan la cantidad posible de modificación de impulso.

Es posible usar el amplificador 50 de voltaje en cascada integrado (Figs. 3-4) en un circuito amplificador de Clase C, así como en un circuito amplificador de Clase A.

La descripción anterior de las Figs. 3 y 4 se ha enfocado en la segunda etapa 56 no final. La primera etapa 54 y la etapa 58 final comparten mucho en común con la segunda etapa 56, con algunas diferencias principales tal como se indica en la continuación. A diferencia de la segunda etapa 56, la primera etapa 54 tiene su cátodo soportado desde una entrada 59a de cátodo de primera etapa, en lugar de desde una estructura de enlace (por ejemplo, similar a 60) de la etapa anterior. La etapa final incluye una estructura 64 de enlace que termina en una salida 59c de ánodo de la última etapa, en lugar de

una estructura de soporte de cátodo (por ejemplo, 62d de la segunda etapa 56) para una etapa siguiente. La etapa 58 final está aislada eléctricamente del recinto 52 de vacío mediante un aislante 53 dieléctrico. Además, los tamaños relativos de las etapas 54, 56 y 58 aumentan desde la primera etapa 54 hasta la etapa 58 final. Finalmente, cabe señalar que, en esta especificación, los números de referencia similares se refieren a partes similares, de manera que, por ejemplo, la descripción anterior del ánodo 56a para la segunda etapa 56 se aplica también al número de referencia 54a para la primera etapa 54 y al número de referencia 58a de la tercera etapa 58.

3. Procedimiento de activación de tubos electrónicos en cascada

La activación de un tubo electrónico es la penúltima etapa de procedimiento en la fabricación del tubo, justo antes de perforar la tubulación de evacuación. El propósito de la activación es convertir el cátodo, tal como se fabrica, en un elemento de emisión de electrones en funcionamiento. Típicamente, este procedimiento implica extraer corriente del cátodo a través del ánodo, mientras el tubo todavía está conectado a un sistema de bombeo de vacío. La implementación específica varía con el tipo de cátodo usado. Es importante reconocer que el procedimiento de activación es completamente independiente de la geometría del electrodo del tubo o de la etapa del tubo.

La presente invención se refiere a tubos electrónicos conectados integralmente en serie en la naturaleza de la conexión integral de los tubos electrónicos, tal como se ha descrito anteriormente con relación a las Figs. 3 y 4. La activación de un cátodo termiónico cambia principalmente la química de la superficie emisora del cátodo, mientras que la activación de un cátodo frío se usa para eliminar las impurezas del cátodo.

Un aspecto que no forma parte de la presente invención es el uso de una única fuente de alimentación para activar las etapas 18a, 18b y 18c sucesivas (Figs. 3-4), en oposición al uso de tres fuentes de alimentación separadas de tensiones progresivamente crecientes. Debido a que el coste de las fuentes de alimentación de alta potencia y tensión aumenta rápidamente con una tensión nominal de salida creciente, es deseable disponer de la capacidad de activar una etapa de tensión muy alta con una fuente de alimentación de tensión relativamente baja. Esto se consigue aprovechando la amplificación inherente proporcionada por cada etapa (18a, 18b y 18c). La primera etapa 18a eleva la tensión al nivel correcto para activar de manera apropiada la segunda etapa 18b; el mismo procedimiento se repite para cada etapa sucesiva. En la etapa final (por ejemplo, 18c o superior), todavía se requiere el procedimiento de amplificación, pero se usa internamente para activar esa etapa.

La Fig. 6 muestra un esquema 90 para activar un amplificador 92 de tensión en cascada integrado (CVA). El amplificador 92, mostrado en líneas punteadas dentro de un recinto 91 de vacío, puede comprender de manera adecuada el CVA descrito anteriormente en conexión con las Figs. 3 y 4. Una fuente 94 de alimentación de alta tensión variable alimenta el terminal 12 de entrada del amplificador 92. Una resistencia 96 de carga está conectada al terminal 14 de salida en un extremo, y a una resistencia 98 de derivación en el otro extremo. El otro lado de la resistencia 98 de derivación está conectado a una tierra 100 común. El conductor central de una conexión 102 hembra coaxial está conectado al terminal común de la resistencia 96 de carga y a la resistencia 98 de derivación. La conexión a tierra de la conexión 102 hembra coaxial está conectada a la conexión 104 a tierra de la resistencia de derivación. Se usan unos medios 106 de evacuación, mostrados diagramáticamente, para evacuar aire e impurezas desde el recinto 91 de vacío.

Para activar el CVA 92, el aire se evacúa desde el recinto 91 mediante los medios 106 de evacuación. La tensión eléctrica desde la fuente 94 de alimentación de alta tensión variable es aplicada entre el ánodo y el cátodo de la primera etapa de tubo conectada en serie dentro del CVA 92. Una cantidad suficiente de la desde la fuente 94 de alimentación se propaga en serie a través de cualquier etapa intermedia (aquí, la segunda etapa) hasta la etapa final con el fin de facilitar la activación de todas las etapas. Preferiblemente, la energía suministrada por la fuente 94 de alimentación al ánodo y al cátodo de la primera etapa es suficiente para causar la activación de todas las etapas. De manera beneficiosa, cada etapa amplifica la tensión de activación de entrada al valor correcto para el nivel de activación mencionado en las dos frases anteriores en virtud de su diseño.

Aunque la Fig. 6 y, por implicación, las Figs. 3 y 4, muestran las tres etapas de un amplificador de tensión en cascada (CVA), pueden incorporarse cuatro o más etapas en un CVA. De esta manera, la Fig. 7 muestra diagramáticamente, entre la entrada 12 y la salida 14, las etapas 110a, 110b, 110c y etapas intermedias, no enumeradas, representadas por una interrupción de línea, hasta la etapa 110n. Estas cuatro o más etapas pueden reemplazar las tres etapas de las Figs. 3, 4 y 6. La interrelación de las diversas etapas de la Fig. 7 puede discernirse de la interrelación de las etapas sucesivas en las Figs. 3 y 4. En particular, la etapa 110a (Fig. 7) corresponde a la primera etapa 54 (Figs. 3 y 4), las etapas 110b, 110c y cualquier etapa intermedia adicional de la Fig. 7 corresponden a la segunda etapa 56 en las Figs. 3 y 4 y la etapa 110n final de la Fig. 7 corresponde a la etapa 58 final en las Figs. 3 y 4. La consecuencia de añadir etapas adicionales es una pequeña disminución en el tiempo de subida del CVA resultante, que se rige por el tiempo de subida de la última etapa y no está sometida al resultado de la rapidez de respuesta (dv/dt).

Aunque la invención se ha descrito con respecto a realizaciones específicas, de manera ilustrativa, las personas con conocimientos en la materia idearán muchas modificaciones y cambios.

REIVINDICACIONES

1. Un amplificador (50) de tensión en cascada para producir una salida amplificada en forma de impulsos o en forma de onda continua, que comprende:
- 5 a) al menos una etapa (54, 56) no final que comprende un tubo electrónico configurado como unos medios de conmutación y de amplificación de Clase A o C; y
- b) una etapa (58) final que comprende un tubo electrónico configurado como un medio de conmutación y de amplificación de Clase A o C; y
- c) en el que al menos una etapa (54, 56) no final y la etapa (58) final están conectadas en serie;
- d) en el que la salida amplificada tiene una tensión de al menos 1.000 voltios;
- 10 caracterizado por que
- e) cada etapa (54, 56 y 58) incluye un electrodo (54a, 56a, 58a) exterior cilíndrico que rodea al menos una rejilla (54b, 56b, 58b) cilíndrica concéntrica que, a su vez, rodea un electrodo (54c, 56c, 58c) interior cilíndrico concéntrico;
- 15 f) en el que la separación radial desde el electrodo (54c, 56c, 58c) interior cilíndrico a la rejilla (54b, 56b, 58b) cilíndrica es tal que crea entre los mismos una guía de ondas circular que soporta un modo electromagnético transversal;
- g) en el que cada etapa no final incluye una estructura (62) de enlace para unir eléctricamente, y ser el soporte mecánico principal para, el electrodo exterior de dicha etapa (56a) no final y el electrodo interior de una etapa (58) subsiguiente; en el que la estructura (62) de enlace tiene un primer extremo y un segundo extremo y comprende:
- 20 i. una interconexión eléctrica incluida entre el primer extremo y el segundo extremo;
- ii. en el que el primer extremo incluye medios para soportar el electrodo (56a) exterior de cada una de dichas etapas (56) no finales; y
- iii. en el que el segundo extremo incluye medios para soportar el electrodo (58c) interior de dicha etapa (58) subsiguiente.
- 25 2. Amplificador de tensión en cascada según la reivindicación 1, en el que la al menos una etapa (54, 56) no final y la etapa (58) final están contenidas físicamente dentro de un recinto (52) de vacío común.
3. Amplificador de tensión en cascada según la reivindicación 1, en el que el número de etapas (54, 56) no finales consiste en dos.
4. Amplificador de tensión en cascada según la reivindicación 1, en el que el número de etapas no finales consiste
- 30 en tres.
5. Amplificador de tensión en cascada según la reivindicación 1, en el que al menos una etapa (54, 56) no final y la etapa (58) final incluyen cada una un tubo electrónico de emisión de campo de cátodo frío.
6. Amplificador de tensión en cascada según la reivindicación 1, en el que la estructura de enlace de cada etapa (54, 56) no final es una estructura continua integral y sin interrupciones.
- 35 7. Amplificador de tensión en cascada según la reivindicación 1, en el que la interconexión eléctrica comprende una línea de transmisión eléctrica.
8. Amplificador de tensión en cascada según la reivindicación 1, en el que la etapa (58) final incluye una estructura de enlace para unir eléctricamente, y ser el soporte mecánico principal para, el electrodo exterior de dicha etapa (58) final y una circuitería externa; en el que la estructura (64) de enlace tiene un primer extremo y un segundo
- 40 extremo y comprende:
- a) una línea de transmisión eléctrica incluida entre el primer extremo y el segundo extremo;
- b) en el que el primer extremo incluye medios para soportar el electrodo (58a) exterior de la etapa final; y
- c) en el que el segundo extremo incluye medios para conectarse a la circuitería externa.
9. Amplificador de tensión en cascada según la reivindicación 8, en el que la estructura de enlace de la etapa (58)

final es una estructura continua integral y sin interrupciones.

10. Amplificador de tensión en cascada según la reivindicación 1, en el que los electrodos exteriores son ánodos (54a, 56a, 58a) y los electrodos interiores son cátodos (54c, 56c, 58c).

5 11. Amplificador de tensión en cascada según la reivindicación 1, en el que los electrodos exteriores son cátodos y los electrodos interiores son ánodos.

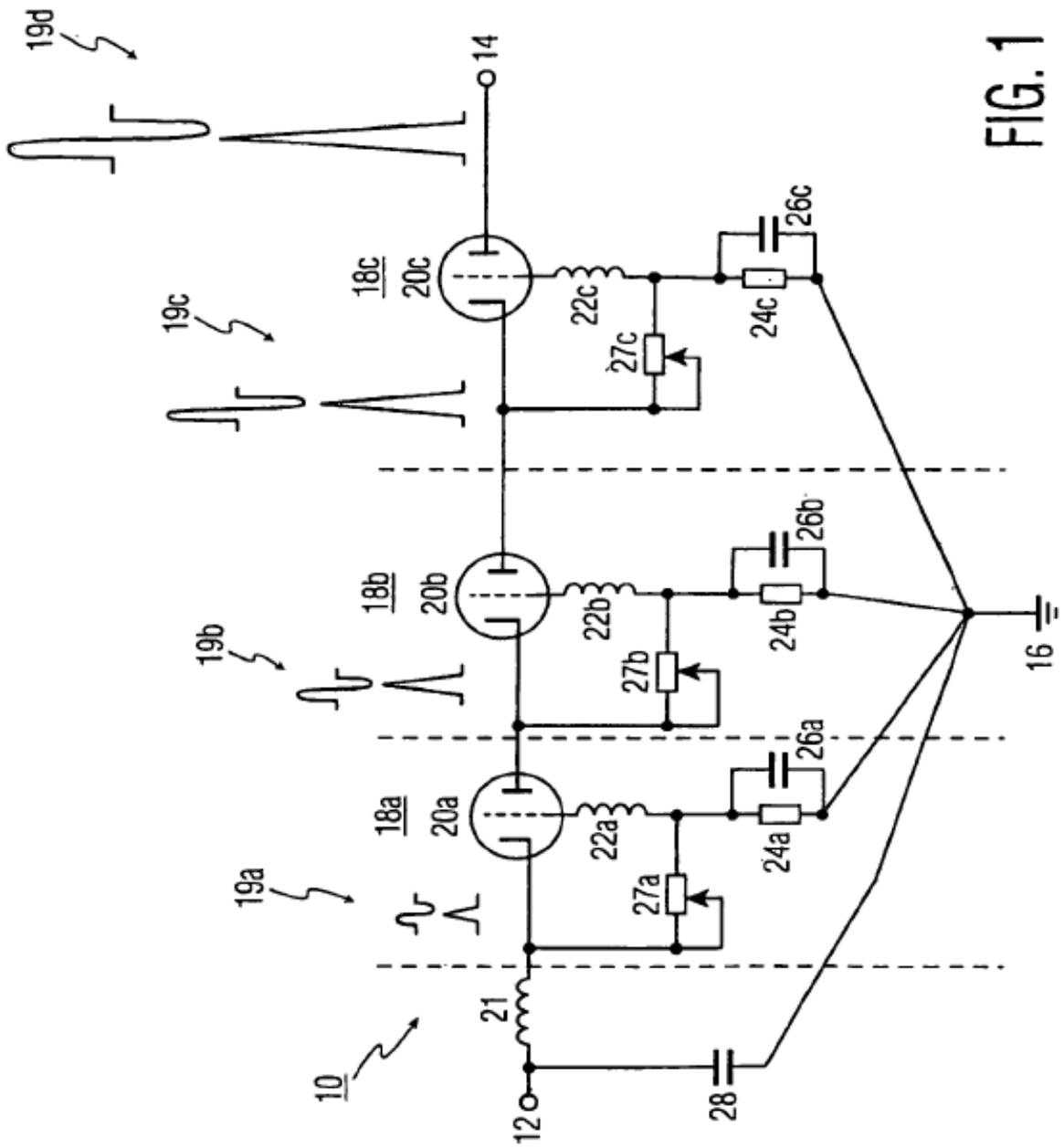


FIG. 1

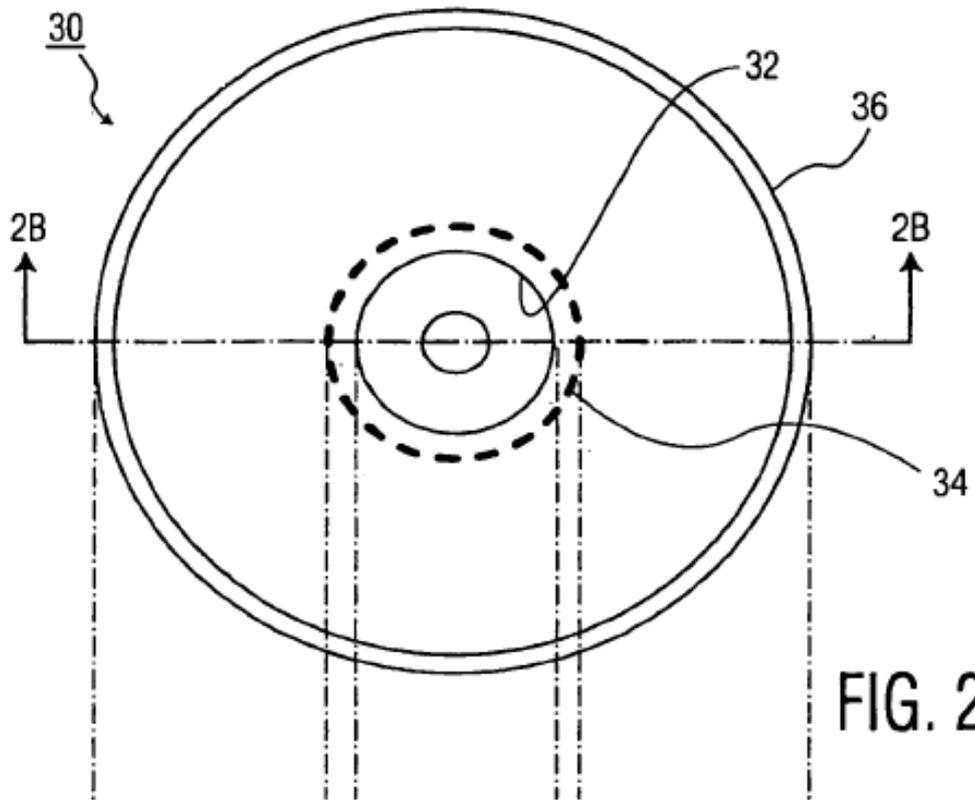


FIG. 2A

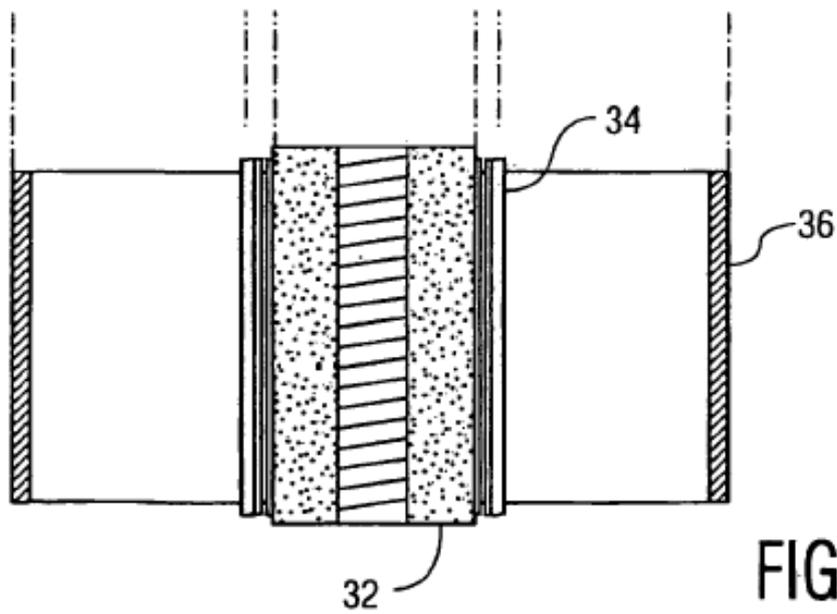


FIG. 2B

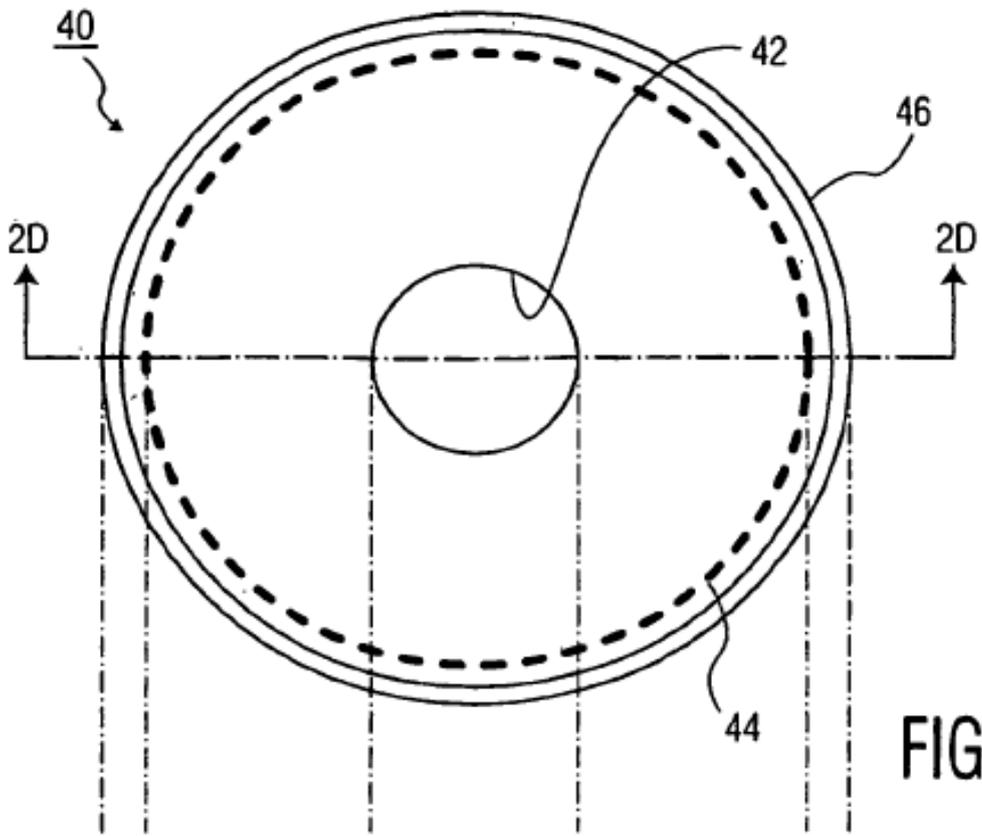


FIG. 2C

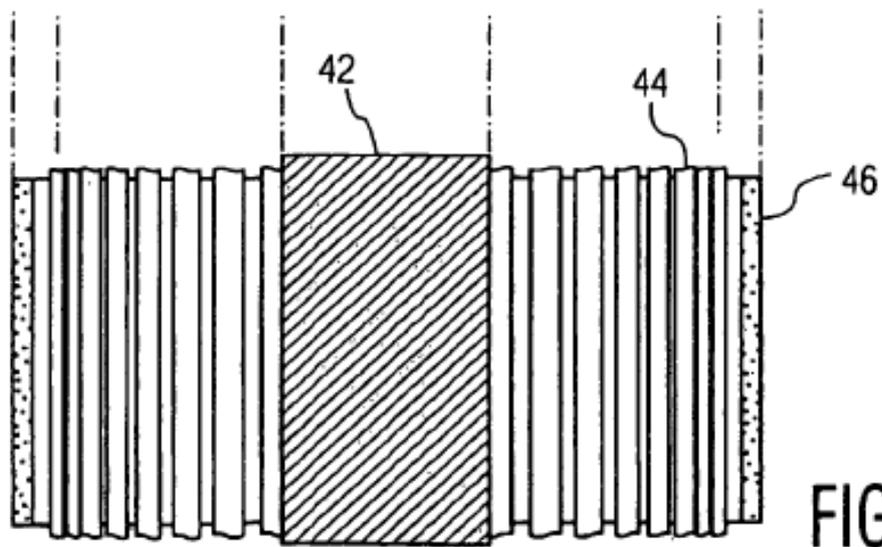


FIG. 2D

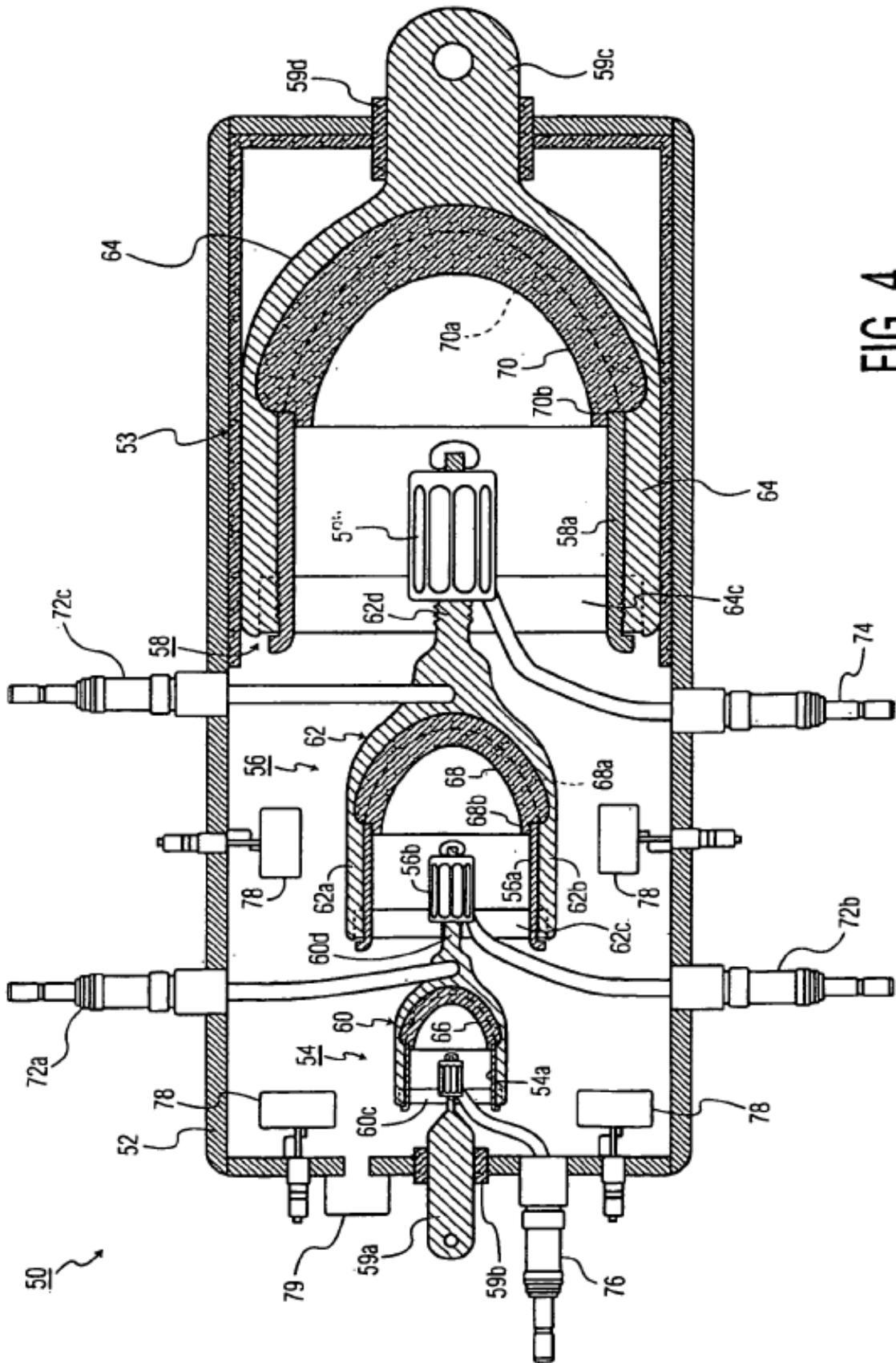


FIG. 4

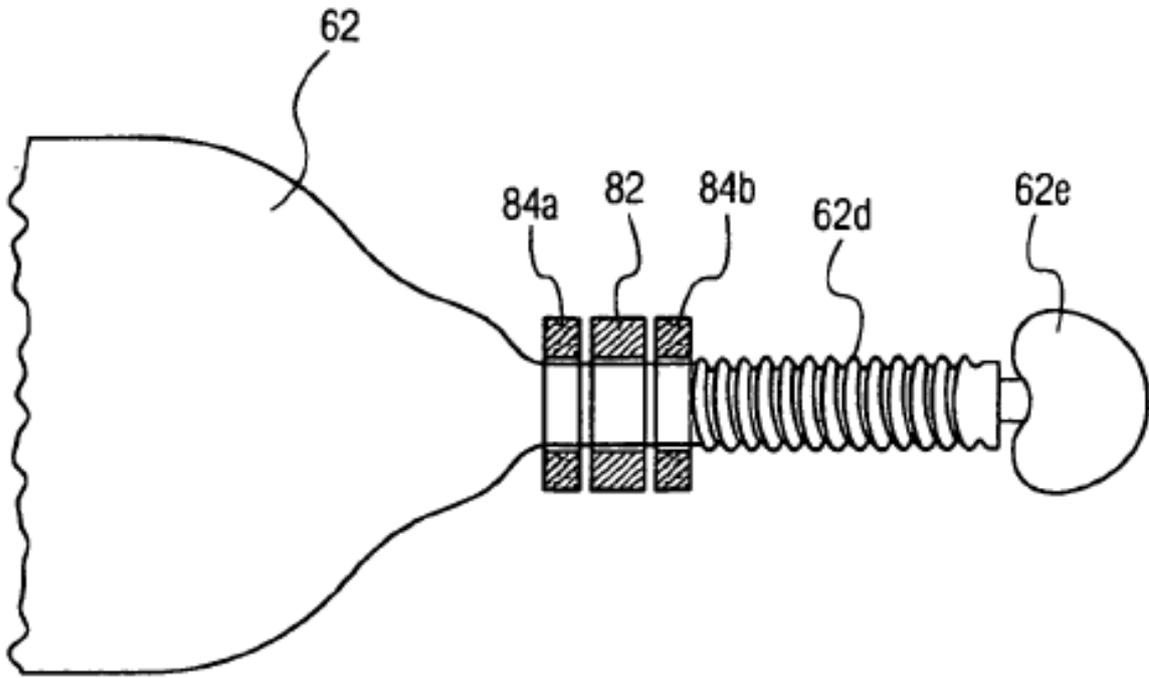


FIG. 5

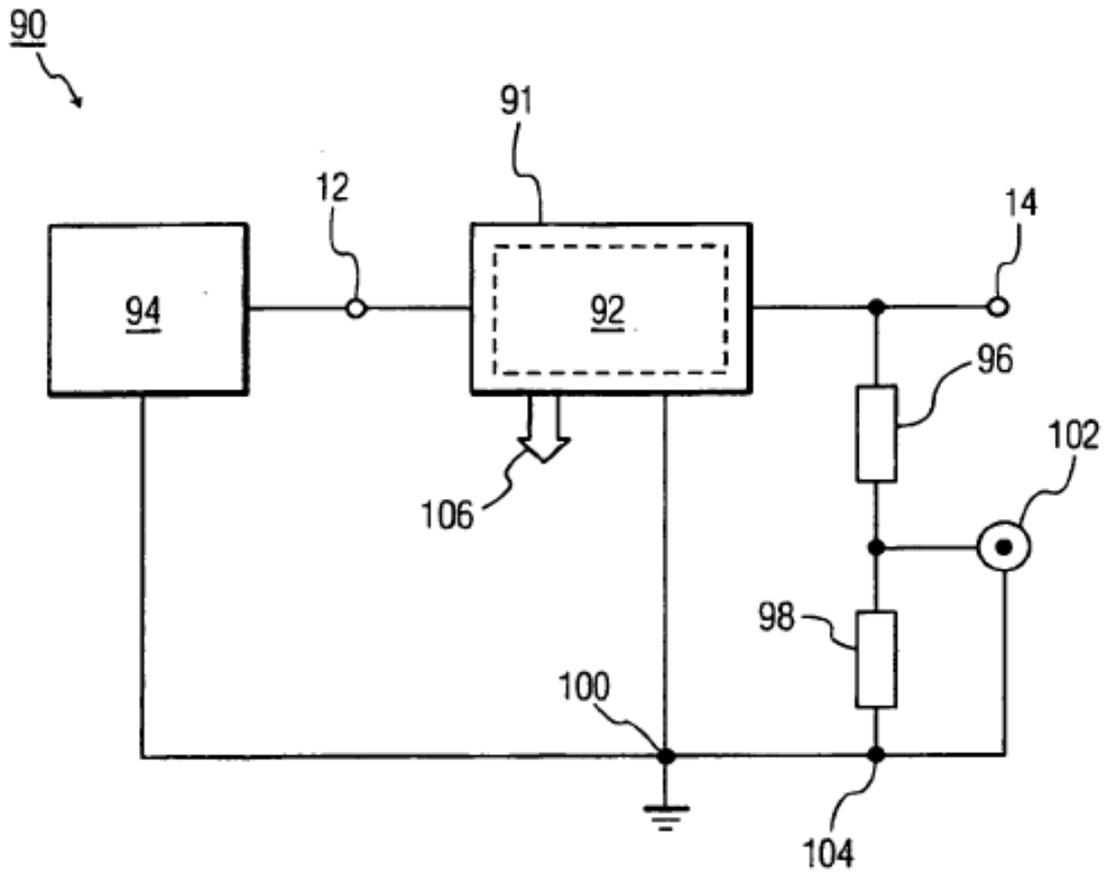


FIG. 6

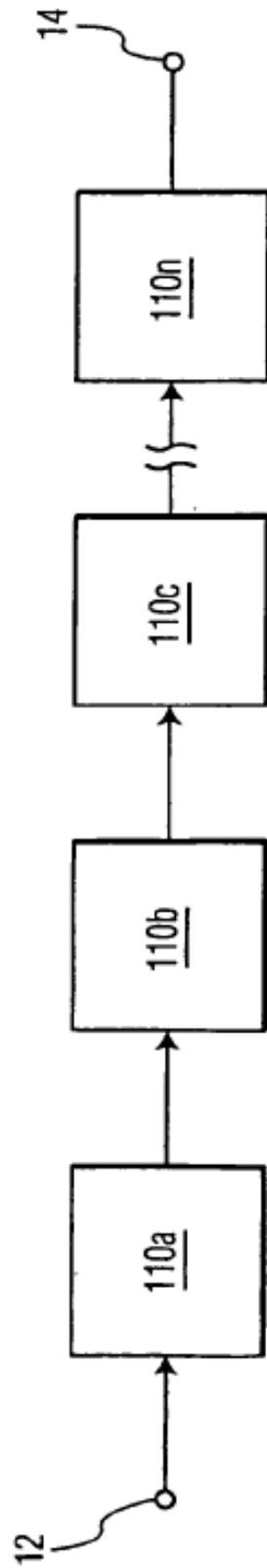


FIG. 7