

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 683 772**

51 Int. Cl.:

<b>H01J 19/82</b>	(2006.01)
<b>H01J 21/10</b>	(2006.01)
<b>G05F 1/10</b>	(2006.01)
<b>H01G 4/35</b>	(2006.01)
<b>H02H 9/02</b>	(2006.01)
<b>H02H 3/08</b>	(2006.01)
<b>H02H 9/08</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.10.2011 PCT/US2011/054986**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **12.04.2012 WO12048046**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.10.2011 E 11831549 (8)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.05.2018 EP 2625581**

54 Título: **Circuito regulador de alta tensión y alta corriente**

30 Prioridad:

**05.10.2010 US 390031 P**  
**26.10.2010 US 406792 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**27.09.2018**

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**

Observaciones :

**Véase nota informativa (Remarks, Remarques o Bemerkungen) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes**

**ES 2 683 772 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 regulador de alta tensión y alta corriente

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere a un circuito regulador de alta tensión y alta corriente con un aspecto relativo a controlar una corriente elevada en un circuito, y otro aspecto relativo a confinar una tensión elevada en el circuito regulador.

**Referencia cruzada a Solicitudes relacionadas**

10 Esta Solicitud está relacionada con dos Solicitudes previas del presente inventor, la Solicitud de los EE.UU. N° 12/359.198, presentada el 23 de enero de 2009 y titulada "Inversor de alta tensión", ahora la Patente de los EE.UU. N° 7.916.507 B2, y la Solicitud de los EE.UU. N° 12/554.818, presentada el 4 de septiembre de 2009 y titulada "Método y aparato para proteger sistemas de potencia de impulsos electromagnéticos extraordinarios", ahora la Patente de los EE.UU. N° 8.300.378 B2.

**Antecedentes de la invención**

15 Existe la necesidad de reguladores de corriente fiables y eficientes, así como de circuitos de confinamiento de tensión para circuitos de potencia de alta tensión. Existen numerosas aplicaciones para tal tecnología, que van desde funciones de control crítico en la red de distribución de energía eléctrica, hasta sistemas de diagnóstico médico y terapéuticos y armas militares. Una «red de distribución de energía eléctrica», tal como se utiliza en esta memoria, quiere decir una red de potencia y distribución eléctrica para alimentar energéticamente residencias privadas, industria y usuarios gubernamentales.

20 El documento US 4.594.630 divulga un circuito regulador de alta tensión y alta corriente de acuerdo con el preámbulo de la presente reivindicación 1. El documento US 2010/0097734 divulga un triodo de emisión de campo de cátodo frío, de alta tensión unidireccional, así como un tubo de electrones de emisión de campo, de cátodo frío y de alta tensión bidireccional.

**Normativa actual de redes de distribución de energía eléctrica**

25 Por lo que respecta a las redes de distribución de energía eléctrica a gran escala que funcionan a una alta tensión y a una corriente elevada, uno de los problemas más significativos es el de limitar la corriente de fallo. Existe la acuciante necesidad de modernizar la red de distribución de energía eléctrica de los EE.UU. y de otros países, con una creciente necesidad de reguladores de corriente de fallo eficaces en la red de distribución de energía eléctrica. Una práctica común en la actualidad es que los sistemas de transmisión eléctrica sean dimensionados con una magnitud sustancialmente múltiplo de la capacidad de carga real, a fin de soportar condiciones de corriente de fallo transitorias que, de otro modo, desestabilizarán la red. Esto crea un factor de sobreelevación de costes que puede ser del orden del 75% por encima de lo que sería necesario si la red se hubiera diseñado tan solo para la capacidad de carga real. De esta forma, la reducción de los transitorios de corriente de fallo podría incrementar drásticamente la capacidad efectiva de la red. Además de ello, existen otras aplicaciones de la regulación de corriente en el funcionamiento de las redes de distribución de energía eléctrica que podrían beneficiarse de un regulador de corriente de fallo eficaz, tal como la regulación del flujo de potencia.

40 Los limitadores de fallo de corriente de la técnica anterior están basados, por lo común, en tecnologías tales como la inserción de una resistencia o de una inductancia, la cual puede consistir en bobinas de inductancia convencionales o superconductoras, o bien en el uso de dispositivos de estado sólido, tales como varistores de óxido metálico. Ninguna de estas técnicas es capaz de satisfacer las necesidades de la industria de la energía eléctrica. En la actualidad, los sistemas más robustos en desarrollo ofrecen una limitación de corriente de fallo de aproximadamente el 50% de la corriente nominal máxima, mientras que la industria de la energía eléctrica necesita limitadores del 80% o más de la corriente nominal máxima. Por otra parte, las tecnologías de la técnica anterior están limitadas en su capacidad de manejo de tensión y de corriente debido a la naturaleza intrínseca de su diseño.

45 La limitación de corriente puramente resistiva constituye el método más antiguo y menos eficiente para limitar la corriente. Este implica insertar en un conductor que porta corriente una resistencia en serie cuyo valor se ha calculado de manera que tan solo permita el flujo de una cierta magnitud máxima de corriente. La corriente en exceso es convertida directamente en calor, de modo que la eficiencia es muy baja. La limitación de corriente resistiva raramente se utiliza en circuitos de potencia, ya que la eficiencia es, con frecuencia, tan solo del orden del 50%.

50 La limitación de corriente inductiva convencional es algo mejor que la limitación de corriente resistiva y es, de hecho, ampliamente utilizada en la industria de la energía eléctrica. Una desventaja de la limitación de corriente inductiva es que la corriente es desplazada fuera de fase con respecto a la tensión, de lo que resulta un pobre factor de potencia. En reactancias de limitación de corriente inductivas más caras, un condensador se empareja, a menudo, con una inductancia para corregir el factor de potencia. Esto llega a ser problemático en los sistemas de alta potencia, puesto que los órdenes de magnitud de manejo de potencia y de soporte de tensión de las inductancias y los condensadores

son limitados. Es principalmente esta limitación lo que ha llevado a los presentes esfuerzos de desarrollo de la industria de la energía para llegar a técnicas de limitación de corriente más fiables y efectivas.

Se ha propuesto el uso de tecnología de superconducción y se han construido prototipos para limitar la corriente de fallo en redes de distribución de energía eléctrica. Sin embargo, la fiabilidad de la tecnología superconductor se ve obstaculizada por la necesidad de complejos sistemas de refrigeración criogénica para mantener los elementos superconductores a su temperatura crítica o por debajo de esta. En caso de que fallen los sistemas criogénicos, los dispositivos superconductores pierden su superconductividad y se vuelven «normales», para convertirse en resistencias en las líneas de potencia. Aparte de un diseño poco fiable del sistema como consecuencia de sus complejos componentes mecánicos, el coste de los limitadores basados en esta tecnología es alto y están limitados, en la actualidad, a un máximo de aproximadamente 138 kV. Para hacer la red de distribución robusta, se necesitan limitadores que puedan funcionar a aproximadamente 500 kV y por encima de este valor. A tensiones bajas, por lo común entre 4 kV y 35 kV, tanto el tamaño como el coste excluyen el uso de reguladores de corriente superconductores.

En el caso de las técnicas de estado sólido para la limitación de corriente, se tienen las mismas desventajas que caracterizan otros sistemas de electrónica de potencia de estado sólido. No hay un único dispositivo de estado sólido que sea capaz de manejar, bien la necesaria tensión o bien la necesaria corriente, con lo que se fuerza, así, a los diseñadores a conectar múltiples dispositivos tanto en serie como en paralelo, a fin de incrementar las capacidades de manejo de la tensión y la corriente, respectivamente. Sin embargo, la colocación de dispositivos en serie y en paralelo requiere «rejillas de equilibrado» para garantizar que la tensión y la corriente se distribuyen uniformemente a través de un conjunto ordenado de dispositivos. Esto se suma a la complejidad y al coste de un sistema y reduce su fiabilidad. Los dispositivos de estado sólido se ven también sometidos a fallos de arco individual. Un fallo de arco individual es causado cuando un dispositivo individual sufre una disrupción eléctrica y se produce un arco en el seno del cristal del propio semiconductor. Esto daña el cristal, deja con frecuencia una huella de carbonización y provoca que dispositivo semiconductor deje de funcionar.

La exposición anterior muestra varias razones por las que las tecnologías existentes no son satisfactorias a la hora de utilizarse en la regulación de corriente (por ejemplo, la limitación de la corriente) en las redes de distribución de energía eléctrica de alta potencia. De acuerdo con ello, existe la necesidad de un regulador de corriente de fallo fiable y efectivo que pueda ser utilizado en redes de distribución de energía eléctrica o en otros circuitos.

#### Regulación de tensión en redes de distribución de energía eléctrica

Una preocupación adicional relativa a las redes de distribución de energía eléctrica son los transitorios de tensión, que pueden ser destructivos para los componentes eléctricos de la red de distribución. Los transitorios de tensión pueden presentarse por diversas causas y prácticamente siempre surgen en presencia de una corriente de fallo sustancial.

De esta forma, existe la necesidad de un regulador de tensión robusto, por ejemplo, un circuito de confinamiento de tensión que pueda funcionar a una tensión elevada y a una alta corriente en una red de distribución de energía eléctrica u otro circuito.

#### Breve compendio de la invención

De acuerdo con la presente invención, se proporciona un circuito regulador de alta tensión y alta corriente destinado a ser interpuesto entre unos primer y segundo terminales que están destinados a ser conectados a un circuito externo, el cual comprende un circuito regulador de corriente bidireccional, o en ambos sentidos, conectado entre los primer y segundo terminales para recibir y regular la corriente entre los primer y segundo terminales. El circuito de regulación de corriente comprende al menos un tubo de electrones de emisión de campo de cátodo frío, portador de corriente principal, que conduce corriente entre los primer y segundo terminales. El al menos un tubo electrónico de emisión de campo de cátodo frío, portador de corriente principal, tiene electrodos portadores de corriente principal, de geometría cilíndrica concéntrica, y tiene unas primera y segunda rejillas de control para controlar la conducción de la corriente entre los primer y segundo terminales cuando la tensión en los primer y segundo terminales es positiva y negativa, respectivamente. El circuito de regulación comprende, de manera adicional, unos primer y segundo tubos de electrones de emisión de campo, de cátodo frío, de control de rejilla, que proporcionan, respectivamente, señales de control para las primera y segunda rejillas de control.

Ventajosamente, el anterior regulador de corriente hace posible un regulador de corriente de fallo fiable y efectivo que puede ser utilizado en redes de distribución de energía eléctrica, así como proporcionar otras funciones tales como las que se describen más adelante.

De acuerdo con una realización, el circuito regulador comprende, de manera adicional, un circuito de confinamiento de tensión, interpuesto entre los primer y segundo terminales que están destinados a ser conectados a un circuito externo. El circuito de confinamiento de tensión comprende un confinador de tensión bidireccional que incluye al menos un tubo de electrones de emisión de campo de cátodo frío. El confinador de tensión bidireccional tiene una tensión de funcionamiento de umbral. Unas primera y segunda rejillas de control están asociadas con el al menos un tubo de electrones de emisión de campo de cátodo frío, y son receptoras de respectivas señales de control para modular la tensión en un camino de conducción de corriente principal entre los primer y segundo terminales. Un circuito polariza

el confinador de tensión por medio de las primera y segunda rejillas de control, a fin de establecer la tensión de funcionamiento de umbral.

5 El regulador de corriente y el confinador de tensión anteriores pueden ser utilizados en conjunción el uno con el otro y se distinguen de los dispositivos de estado sólido por su extrema resistencia a los fallos debidos a la formación de arcos. En un dispositivo de estado sólido, un solo arco eléctrico provocará un fallo catastrófico, mientras que, en la realización mencionada, el circuito puede haberse hecho de manera que sea altamente tolerante a la formación de arcos mediante el uso de métodos rutinarios para el experto de la técnica, basándose en la presente memoria.

10 La presente realización se distingue adicionalmente de una versión de estado sólido debido a que presenta un intervalo de temperaturas de funcionamiento sustancialmente más amplio. En los dispositivos de estado sólido, el rendimiento comienza a decrecer rápidamente, por lo común, a tan solo aproximadamente 26 grados centígrados, al contrario que en la realización mencionada, cuando se utilizan tubos de electrones de emisión de campo de cátodo frío, los cuales pueden funcionar satisfactoriamente a temperaturas de 650 grados centígrados sin necesidad de utilizar medios de refrigeración realizados específicamente. El límite de temperatura superior para los tubos de electrones de emisión de campo de cátodo frío se produce a entorno a 760 grados centígrados, punto en el cual los electrodos de tubo llegan a una emisión termiónica espontánea y el tubo comienza a conducir corriente de forma continua. Algunos nuevos dispositivos semiconductores, habitualmente con material de base de carburo de silicio, pueden funcionar a temperaturas algo más altas que los dispositivos basados en silicio, esto es, hasta un máximo de 200 grados centígrados. Si bien esto representa una mejora sustancial, sigue siendo un valor sustancialmente más bajo que el límite de temperatura para tubos de electrones de emisión de campo de cátodo frío, y el carburo de silicio sigue viéndose sometido a fallos de arco individual, lo que lo hace casi tan vulnerable como los dispositivos basados en silicio. El carburo de silicio es también muy caro y presenta magnitudes de manejo de tensión y de corriente del dispositivo individual bajas, teniendo, por lo común, una magnitud de manejo de la tensión no superior a aproximadamente 1.500 voltios, lo que precisa del uso generalizado de redes en serie y en paralelo para conseguir magnitudes de manejo de la tensión más elevadas.

25 En la realización mencionada de la invención, combinando un regulador de corriente y un confinador de tensión, puede construirse un tubo de electrones de emisión de campo de cátodo frío individual de manera que maneje tensiones que superan el millón de voltios, con capacidades de manejo de corriente medidas en cientos de kiloamperios, que ningún dispositivo semiconductor conocido es capaz de alcanzar.

#### Breve descripción de los dibujos

30 Características y ventajas adicionales de la invención se pondrán de manifiesto de forma evidente por la lectura de la siguiente descripción detallada de la invención, en combinación con las figuras de los dibujos, en las cuales:

La Figura 1 es un diagrama eléctrico esquemático de un regulador de alta tensión y alta corriente, parcialmente en forma de bloques, de acuerdo con una realización preferida de la invención.

35 La Figura 2 es una vista en perspectiva y simplificada, parcialmente recortada, de un tubo de electrones de emisión de campo, de cátodo frío y bidireccional, o tubo Bi-tron, que puede ser utilizado en el regulador de corriente de la Figura 1.

La Figura 3 es un diagrama eléctrico esquemático de un par de tubos de emisión de campo de cátodo frío, conectados entre sí por sus partes traseras, que pueden ser utilizados en lugar de un tubo Bi-tron mostrado en las Figuras 1 y 2.

40 La Figura 4 es un diagrama eléctrico esquemático, parcialmente en forma de bloques, de un par de transformadores de potencia, los cuales utilizan un aspecto de regulación de corriente de la invención para su protección frente a corrientes inducidas geomagnéticamente (GIC –“Geomagnetically Induced Currents”–).

La Figura 5 es un diagrama eléctrico esquemático de unos circuitos para controlar los reguladores de corriente de la Figura 4 cuando se utilizan para proteger los transformadores de corrientes inducidas geomagnéticamente (GIC).

45 La Figura 6 es similar a la Figura 4, pero muestra un uso diferente del aspecto de regulación de corriente de la invención.

La Figura 7 es similar a la Figura 1, pero muestra un circuito regulador de alta tensión y alta corriente que tiene tanto un circuito regulador de corriente, tal como se muestra en la Figura 1, como un circuito de confinamiento de tensión.

#### Descripción detallada de la invención

Cerca del final de esta descripción detallada se encuentra una lista de números de referencia y de partes asociadas.

50 Las siguientes definiciones se refieren a términos que se utilizan en la presente memoria.

«Red de distribución de energía eléctrica» significa, en esta memoria, una red de energía eléctrica y distribución para alimentar energéticamente residencias privadas, industria y usuarios gubernamentales. Por lo común, una red de distribución de energía eléctrica tendrá una pluralidad de generadores de energía y unos medios para la transmisión

de la electricidad a una pluralidad de subestaciones de distribución, de manera que la función de dichas subestaciones es distribuir la energía a residencias privadas industria y usuarios gubernamentales.

«Corriente de fallo» quiere decir un estado grave de sobrecorriente, o corriente excesiva.

«Corriente elevada» quiere decir, en la presente memoria, que es mayor que 50 amperios.

5 «Alta tensión» significa, en esta memoria, que es mayor que 400 voltios CA [de corriente alterna –“AC (Alternating Current)”–].

Regulador de corriente de alta tensión

De acuerdo con una realización de la invención, la Figura 1 muestra un circuito regulador de corriente de alta tensión  
10 que tiene unos primer y segundo terminales, 13 y 15, destinados a ser interpuestos dentro de un circuito cuya corriente se desea regular. El circuito regulador de corriente 10 tiene una capacidad de corriente elevada, habiéndose definido «corriente elevada» en lo anterior. Cuando la polaridad de una tensión en los primer y segundo terminales, 13 y 15, es positiva, la parte del circuito 10 casi completamente encerrada por el lazo de línea discontinua 18 controla el funcionamiento del circuito regulador 10. Y a la inversa, cuando la polaridad de una tensión en los primer y segundo terminales, 13 y 15, es negativa, la parte del circuito 10 casi completamente encerrada por el lazo de línea discontinua  
15 20 controla el funcionamiento del circuito regulador 10. Por supuesto, en el recorrido de circuito ilustrado horizontalmente, entre los primer y segundo terminales, 13 y 15, el conductor (no numerado), los electrodos portadores de corriente principal (denominados catánodos) 26 y 29, del tubo Bi-tron 23 y una resistencia en derivación 47 son utilizados para excursiones o idas de tensión, tanto positivas como negativas, en los primer y segundo terminales, 13 y 15. Las rejillas 28 y 31 del Bi-tron 23 son utilizadas, respectivamente, durante las excursiones positivas y negativas de tensión en los primer y segundo terminales.  
20

Los lazos de línea discontinua 18 y 20 se han dispuesto, preferiblemente, de forma asimétrica entre sí, tanto por lo que respecta a la topología de circuito como a los valores de los componentes, de tal manera que basta una descripción de únicamente los circuitos asociados con el lazo de línea discontinua 18 para describir los circuitos asociados con el lazo de línea discontinua 20.

25 Los circuitos del lazo de línea discontinua 18 incluyen un tubo de emisión de campo de cátodo frío y bidireccional 23, al que se hace referencia en esta memoria, de forma abreviada, como tubo Bi-tron. La estructura del tubo Bi-tron 23 puede ser más fácilmente apreciada haciendo referencia a la Figura 2, la cual comparte números de partes comunes con el Bi-tron 23 de la Figura 1. Como se muestra en la Figura 2, el tubo Bi-tron 23 incluye un «catánodo» interior 26, con el que quiere significarse un conductor portador de corriente principal que funciona alternativamente como cátodo  
30 y como ánodo. El catánodo 26 se ha conformado de forma cilíndrica, y puede tener la forma de un cilindro macizo, como se muestra. Un segundo catánodo 29, de forma cilíndrica, rodea el catánodo 26 y comparte el mismo eje longitudinal (no mostrado). Una rejilla conformada de forma cilíndrica 28 rodea el catánodo 26, y es adyacente a, y está asociada con, dicho catánodo. Una rejilla conformada de forma cilíndrica 31 está encerrada por el catánodo 29, y es adyacente a dicho catánodo y está asociada con este. Pueden encontrarse detalles adicionales de los tubos Bi-tron en el documento de Publicación N° US 2010/0195256 A1, de fecha 5 de agosto de 2010, titulado “Método y aparato para proteger sistemas potencia de impulsos electromagnéticos extraordinarios”, ahora la Patente de los EE.UU. N° 8.300.378 B2.  
35

Existe un tubo de electrones de alta tensión 35 incluido en el lazo de línea discontinua 18 y que, de acuerdo con los circuitos que se van a describir a continuación, detecta la tensión en el primer terminal 13 y controla la rejilla 31 del Bi-tron 23. El tubo de electrones de alta tensión 35, también conocido como tubo Pulsatron, es un tubo de emisión de campo de cátodo frío que tiene un ánodo 37, un cátodo 39 y una rejilla 41 adyacente a dicho cátodo 39 y que está asociada con este. En una realización real, el ánodo 37, el cátodo 39 y la rejilla 41 se han conformado de forma cilíndrica. Detalles adicionales de un tubo Pulsatron se encuentran en la Patente de los EE.UU. N° 4.950.962, expedida el 21 de agosto de 1990 y titulada “Tubo de conmutación de alta tensión”. El primer terminal 13 y el segundo terminal  
40 15 están, preferiblemente, interconectados formando una red de distribución de energía eléctrica (no mostrada) en el orden del sentido de flujo de potencia en la red de distribución de energía eléctrica.  
45

Dentro del lazo de línea discontinua 18 de la Figura 1, suponiendo una tensión positiva en los primer y segundo terminales, 13 y 15, la resistencia 42 y la resistencia ajustable 44 establecen una tensión de polaridad para la rejilla 31 del Bi-tron 23, el cual funciona como un regulador de corriente en serie. La resistencia 42 puede tener también un  
50 componente inductivo. El Bi-tron 23 es funcionalmente análogo a un FET [transistor de efecto de campo –“Field Effect Transistor”–] en este circuito. La corriente que fluye desde el tubo Bi-tron 23 fluye a través de una resistencia en derivación 47 al objeto de desarrollar una tensión a través de tal resistencia 47. Esta tensión es suministrada a través de un divisor de tensión compuesto por unas resistencias 50 y 52. La rejilla 41 del tubo Pulsatron 35 está conectada a la unión de las resistencias 50 y 52. Una tensión de referencia, designada como REF. 1, se aplica al lado superior de la resistencia 50. La relación entre la tensión de la resistencia en derivación 47, tomada en el segundo terminal 15,  
55 y la tensión de referencia REF. 1 determina el grado de conducción del tubo Pulsatron 35, el cual, a su vez, controla la conducción del tubo Bi-tron 23. Un condensador 55, conectado a través de la resistencia 52, establece una primera constante de tiempos con la resistencia 50 al objeto de garantizar que el circuito permanece en conducción hasta el

punto de cruce con el cero. Ajustando los valores de la tensión de referencia REF. 1 y los valores de resistencia del divisor de tensión 50 y 52, pueden ser implementados diferentes modos de regulación de la corriente. La tensión de referencia REF. 1 viene proporcionada por otro circuito, y corresponderá a la práctica rutinaria implementarla por parte de una persona con conocimientos ordinarios.

5 Supresión de armónicos

Los armónicos de alta frecuencia son indeseables en las redes de distribución de energía eléctrica, en las que conducen a ineficiencias del sistema. Se ha venido realizando un esfuerzo considerable por parte de las compañías de servicios públicos para eliminar los armónicos de alta frecuencia, de manera que cualquier componente de conmutación que los produce es de un diseño inapropiado para aplicaciones de redes de suministro de energía. La reducción del contenido de armónicos en las operaciones de conmutación por parte del regulador de corriente de alta tensión 10 (Figura 1) se lleva a efecto, preferiblemente, (1) aumentando la longitud de los conjuntos de cañón de electrones formados a partir de los cátodos 26 y 29, según se muestra en la Figura 2, y (2) incluyendo un segundo circuito de constante de tiempos en cada lazo de línea discontinua 18 o 20 de la Figura 1, para controlar el Bi-tron 23.

Así pues, los circuitos contenidos dentro del lazo de línea discontinua 18 incluyen un circuito de constante de tiempos de RC, formado por la resistencia 42 y un condensador 58, que se ha calculado para producir un tiempo de ascenso del orden de 1/8 de un ciclo a una frecuencia de 60 Hz u otra frecuencia típica en un circuito de red de distribución de energía eléctrica. Un circuito de constante de tiempos alternativo utiliza una inductancia en lugar de la resistencia 42, dispuesta en serie con la rejilla 29 del tubo Bi-tron 23. El circuito de constante de tiempos de resistencia-condensador (RC) descrito o el circuito de constante de tiempos de inductancia-condensador (LC) proporciona el deseado tiempo de ascenso lento para minimizar los armónicos, tal y como se ha descrito anteriormente.

La resistencia 64 forma parte de un divisor de tensión ajustable, provisto de la resistencia ajustable 44, para ajustar la polaridad de rejilla del Pulsatron 35. La resistencia 64 también influye en la polaridad de la rejilla asociada 31 del tubo Bi-tron 23. Puede también utilizarse una resistencia adicional 66, mostrada en líneas discontinuas, para polarizar la rejilla 41 del tubo Pulsatron 35.

La Figura 3 muestra una alternativa de uso de un tubo de emisión de campo de cátodo frío, bidireccional, o tubo Bi-tron 23 de la Figura 1. Así, pues, la Figura 3 muestra un par de tubos de electrones de emisión de campo de cátodo frío, conectados entre sí por sus partes traseras, o de forma antiparalela, 24 y 25, a fin de que el ánodo del tubo 24 se encuentre al mismo potencial del electrodo 27 portador de corriente principal, que corresponde al cátodo 26 del Bi-tron (23) (Figura 1), y el ánodo del tubo 25 se encuentre al mismo potencial del electrodo 30 portador de corriente principal, que corresponde al cátodo 29 del Bi-tron 23. Los tubos 24 y 25 tienen respectivas rejillas de control 33 y 34, las cuales se corresponden con las rejillas de control 31 y 28 del Bi-tron 23 de la Figura 1. Los tubos de electrones 24 y 25 tienen, preferiblemente, una geometría cilíndrica de los electrodos, y pueden comprender tubos Pulsatron, anteriormente descritos.

Para el funcionamiento del circuito regulador de corriente de alta tensión 10 cuando la polaridad de la tensión en los primer y segundo terminales, 13 y 15, es negativa, los circuitos situados dentro del lazo de línea discontinua 20 funcionan de una manera complementaria a la de los circuitos anteriormente descritos situados dentro del lazo de línea discontinua 18. Se ha dado a los componentes correspondientes dentro del lazo de línea discontinua 20 números de referencia correspondientes, aumentados por un «10» antepuesto; de esta manera, el tubo Pulsatron 1135 situado dentro del lazo inferior 20 corresponde al tubo Pulsatron 35 del lazo superior 18.

40 Características de diseño preferidas del circuito de regulación de corriente

Preferiblemente, el circuito regulador de corriente de alta tensión 10 de la Figura 1 se ha diseñado para tener una o más de las siguientes características:

- un REGULADOR DE CORRIENTE DE FALLO, que tiene una capacidad de manejo de tensión y de corriente suficiente para limitar las corrientes de fallo en una red de distribución de energía eléctrica, y, como se describe más adelante en relación con la Figura 7, también para limitar estados de sobretensión en la red de distribución de energía eléctrica.
- una PROTECCIÓN FRENTE A GIC, que tiene una capacidad de tensión y de corriente suficiente para que, cuando se coloca en la pata de toma de tierra de un arrollamiento conectado en estrella, perteneciente a un transformador o generador eléctrico de una red de distribución de energía eléctrica, el circuito de regulación de corriente bidireccional regula las corrientes inducidas geomagnéticamente con el fin de prevenir daños al arrollamiento o al generador. El circuito de la presente invención es funcional a la frecuencia muy baja (pseudo-CC) típica de las señales de GIC.
- un CONTROL DEL FLUJO DE POTENCIA, que tiene una capacidad de manejo de tensión y de corriente suficiente para controlar el flujo de potencia en una red de distribución de energía eléctrica.
- un DISYUNTOR DE CIRCUITO, que tiene una capacidad de regular la corriente entre los primer y segundo terminales, 13 y 15, desde una conducción total (del 100%) hasta un corte total (esto es, un flujo de corriente nulo), en un funcionamiento analógico continuo cuando se desea, de tal modo que el circuito regulador de corriente 10 puede

ser utilizado como disyuntor de circuito.

La implementación de las anteriores capacidades será una práctica rutinaria para una persona con conocimientos ordinarios de la técnica, a la vista de la presente memoria. Estas capacidades son adicionalmente descritas como sigue.

- 5 REGULADOR DE CORRIENTE DE FALLO. Limitar las corrientes de fallo constituye una técnica extremadamente importante que puede ser llevada a efecto en muchos lugares de una red de distribución de energía eléctrica. Puede utilizarse para proteger elementos individuales de dicha red, tales como los disyuntores de circuito y los transformadores; puede utilizarse como elemento de control activo en las denominadas «redes inteligentes»; y puede ser utilizada para la protección frente a corrientes inducidas geomagnéticamente (GIC –“Geomagnetically Induced Currents”–), lo que se expone como sigue.

10 PROTECCIÓN FRENTE DE GIC. Uno de los usos del circuito de regulación de corriente de la invención es un regulador de corriente de fallo para limitar la corriente y proteger el equipo de daños debidos a las GIC. La Figura 4 muestra unos transformadores trifásicos 70 y 80 conectados entre los elementos 85 y 86 de la red de distribución de energía eléctrica, de tal manera que los elementos son los expuestos en la anterior definición de «red de distribución de energía eléctrica». El transformador 70 tiene un arrollamiento primario 72 con las tres fases conectadas en configuración de triángulo, y un arrollamiento secundario 74 con las tres fases conectadas en una configuración en estrella. El transformador 80 tiene, similarmente, un arrollamiento primario 82 conectado en una configuración en estrella, y un arrollamiento secundario 84 con las tres fases conectadas en una configuración de triángulo. El número de referencia 87 alude a una cierta distancia tangible a través de la superficie y la región de corteza o capa superior del terreno, y las tomas de tierra 88 y 89 son tomas conectadas al terreno. La GIC 90 se ha representado por una serie de flechas, y constituye una corriente de pseudo-CC. Las GICs se describen con mayor detalle en la Publicación de Patente de los EE.UU. N° 2010/0097734 A1, de fecha 22 de abril de 2010, titulada “Método y aparato para la protección de sistemas de distribución de energía frente a impulsos electromagnéticos extraordinarios”.

15 La Figura 4 también muestra la inclusión de reguladores de alta tensión y alta corriente, 91 y 95, en respectivas patas de toma de tierra de los arrollamientos conectados en estrella 74 y 82 de los transformadores 70 y 80, fijados a las tomas de tierra conectadas al terreno 88 y 89, respectivamente. Los reguladores de corriente 91 y 95, que pueden comprender, cada uno de ellos, un circuito regulador de corriente de alta tensión 10 de la Figura 1, por ejemplo, actúan limitando la GIC, que es una corriente de pseudo-CC de muy baja frecuencia, u otra corriente de CC que se desplaza por las patas de toma de tierra de los arrollamientos del transformador conectado en estrella. De esta manera, los transformadores 70 y 80 son protegidos de tales corrientes de fallo de pseudo-CC o de CC que podrían fácilmente dañar o destruir el transformador.

20 Los reguladores de corriente 91 y 95 de la Figura 4 son controlados en respuesta a la corriente en las mencionadas patas de toma de tierra para los arrollamientos 74 y 82, que se mide a partir de la tensión en las resistencias 92 y 96 de respectivas derivaciones de corriente de alta velocidad 93 y 97. Por ejemplo, las tensiones en las resistencias 92 y 96 vienen proporcionadas en un circuito diferenciador de CC-CA [corriente continua – corriente alterna] 100 de la Figura 5, por ejemplo, para ajustar las tensiones de referencia REF. 1 y REF. 2 (Figura 1) de los reguladores de corriente 91 y 95. Tales tensiones son, preferiblemente, transmitidas a un terminal de entrada 101 de los respectivos circuitos diferenciadores de CC-CA de la Figura 5, los cuales controlan los reguladores de corriente de una manera tal, que permiten que las corrientes transitorias de CA pasen simplemente a través de los reguladores de corriente, sin restricciones.

25 Las tensiones en las resistencias 92 y 96 (Figura 4) son, preferiblemente, transmitidas a los terminales de entrada 101 de los respectivos circuitos de la Figura 5 por respectivos medios de conexión coaxial 94 y 98. Los anteriores y otros detalles de las derivaciones de corriente de alta velocidad se encuentran dentro de la práctica rutinaria del experto de la técnica, por medio de la anteriormente citada Publicación de Patente de los EE.UU. N° 2010/0097734, de fecha 22 de abril de 2010, titulada “Método y aparato para la protección de sistemas de distribución de energía frente a impulsos electromagnéticos extraordinarios”. Una alternativa menos deseable al uso de los medios de conexión coaxial 94 y 98 es un enlace de fibra óptica (no mostrado) con una etapa de eléctrica a óptica en el extremo de entrada y una etapa de óptica a eléctrica en el extremo de salida.

30 Las tensiones de las resistencias 92 y 96, recibidas por respectivos terminales de entrada 101 del circuito de la Figura 5, son aplicadas a una de las entradas de un amplificador diferencial 104, cuya otra salida está conectada a la toma de tierra 105. En presencia de una corriente CC, o pseudo-CC, tal como la que caracteriza la GIC, en las patas de toma de tierra antes mencionadas de los arrollamientos 74 y 82 de transformador, los respectivos amplificadores diferenciales 104 producen una salida muy pequeña. Sin embargo, en presencia de corriente CA transitoria en las mencionadas patas de toma de tierra, los amplificadores diferenciales 104 producen, respectivamente, un pico afilado. Un respectivo disparador de Schmidt 106, que tiene una entrada que recibe la salida de un amplificador diferencial 104, y otra entrada a la tensión de referencia REF. 3, detecta el pico anterior y crea una tensión en un terminal de salida respectivo 103 que es considerablemente más elevada que las tensiones de referencia normales REF.1 y REF. 2 (Figura 1) y anula esas tensiones de referencia para permitir que pase un alto valor de la corriente CA transitoria sin obstáculos a través de los reguladores de corriente 93 y 97. El diseño de los reguladores de corriente 93 y 97, incluyendo la selección de las tensiones de referencia REF. 1 y REF. 2, determina la magnitud del elevado valor de

corriente que se deja pasar en presencia de una corriente CA transitoria.

La otra entrada del disparador de Schmidt 106 es una tensión de referencia REF. 3 que se utiliza para ajustar un umbral para hacer que el disparador de Schmidt 106 envíe la tensión de salida anuladora antes descrita por el terminal de salida 103, a fin de permitir que pase sin obstáculos un elevado valor de corriente CA transitoria a través de los reguladores de corriente 93 y 97. Cuanto más bajo es el umbral que se establece por la REF. 3, más grande será el intervalo de corrientes CA transitorias que se dejan pasar sin obstáculos a través de los reguladores de corriente 93 y 97.

En ausencia de una corriente CA transitoria detectada en las patas de toma de tierra antes mencionadas de los arrollamientos conectados en estrella 74 y 82 de la Figura 4, las tensiones de referencia REF. 1 y REF. 2 (Figura 1) para cada uno de los reguladores de corriente 91 y 95 funcionan sin anulación desde una salida 103 de un respectivo circuito diferenciador de CC-CA 100 de la Figura 5.

El amplificador diferencial 104 y el disparador de Schmidt 106, u otro detector de tensión de umbral, pueden ser implementados con tubos de emisión de campo de cátodo frío o con otros circuitos que puedan funcionar apropiadamente a las magnitudes de tensión y de corriente que se encontrarán. Tales magnitudes de tensión y de corriente pueden llegar más arriba de 10 kV, incluso de entre 20 kV y 30 kV, y pueden llegar más arriba de 100 kiloamperios. La implementación del circuito diferenciador de CC-CA 100 será una práctica rutinaria para las personas con conocimientos ordinarios de la técnica, basándose en la presente memoria.

El uso de los reguladores de alta tensión y alta corriente 91 y 95 en el circuito de la Figura 4 es superior al uso de resistencias o condensadores (no mostrados) en las patas de toma de tierra de un transformador conectado en estrella, ya que las resistencias y los condensadores son propensos a fallos y, por tanto, actúan más como fusibles que se queman y, en consecuencia, crean un circuito abierto. Una vez que una resistencia o un condensador se quema y crea un circuito abierto, el circuito en el que está situado pierde su conexión a tierra y se hace extremadamente peligroso. Los condensadores son también limitados por sus magnitudes de manejo de tensión y de corriente, que son órdenes de magnitud inferiores a las que los reguladores de corriente 91 y 95 de la Figura 4 pueden manejar de forma segura y repetida.

CONTROL DE FLUJO DE POTENCIA. Una aplicación importante del regulador de alta tensión y alta corriente 10 de la Figura 1 es el control del flujo de potencia en una red de distribución de energía eléctrica. Esta función es distinta de la de limitar la corriente de fallo, que es una función protectora. El control del flujo de potencia es una técnica de gestión de la energía que se utiliza para optimizar la capacidad de transmisión de una red de distribución de energía eléctrica. La Figura 6 muestra una implementación de esta aplicación y es generalmente similar a la de la Figura 4, de manera que se sirve de los mismos números de referencia para las mismas partes. La Figura 6 muestra la interposición de reguladores de corriente 110, 112 y 114, cada uno de los cuales puede comprender un circuito regulador de corriente de alta tensión 10 de la Figura 1, por ejemplo, en los respectivos conductores 111, 113 y 115 que interconectan los arrollamientos en estrella 74 del transformador 70 con los arrollamientos conectados en estrella 82 del transformador 80. Los reguladores de corriente 110, 112 y 114 pueden controlar el flujo de potencia en una red de distribución de energía eléctrica, puesto que la tensión de tal red se regula de manera que sea aproximadamente constante. De esta forma, el control de la magnitud de la corriente directamente controla el flujo de potencia eléctrica. Cuando se utilizan para el control del flujo de potencia, los reguladores de corriente 110, 112 y 114 funcionan, por lo común, para regular la corriente de forma continua o de forma más continua que cuando se utilizan para el propósito de limitar los transitorios de corriente excesiva, o sobrecorriente.

Beneficiosamente, los reguladores de corriente 110, 112 y 114 del circuito de la Figura 6, por ejemplo, pueden también ser utilizados para suprimir un estado de corriente excesiva en una red de distribución de energía eléctrica.

DISYUNTOR DE CIRCUITO. El circuito regulador de alta tensión y alta corriente 10 de la Figura 1 puede ser utilizado, ventajosamente, para regular la corriente entre los primer y segundo terminales 13 y 15 hasta un valor nulo en una función analógica continua, cuando se desee. De esta manera, el circuito regulador de corriente 10 puede ser utilizado como disyuntor de circuito.

Otras aplicaciones para el regulador de alta tensión y alta corriente 10 de la Figura 1 resultarán evidentes para las personas con conocimientos ordinarios de la técnica, basándose en la presente memoria.

Regulador de tensión y regulador de corriente combinados.

Es deseable mejorar adicionalmente la capacidad funcional del circuito regulador de alta tensión y alta corriente antes descrito 10 de la Figura 1, mediante la adición de un circuito de confinamiento de tensión, tal como se muestra, por ejemplo, en la Figura 7. Esto es debido a que las sobretenidas de corriente de fallo, por ejemplo, vienen frecuentemente acompañadas por transitorios de sobretensión, y, en ocasiones, se producen por sí mismos los transitorios de sobretensión. Si son de la suficiente magnitud, tales transitorios de sobretensión pueden provocar fallos en el aislamiento eléctrico, lo que conlleva daños graves en el sistema.

De esta forma, la Figura 7 muestra un circuito regulador de corriente 120 similar el circuito regulador de corriente 10 de la Figura 1 y que tiene los mismos números de referencia que en la Figura 1 para indicar partes similares, para las



5 cuales resulta, por tanto, innecesaria una descripción en relación con la Figura 7. La Figura 7 muestra también un  
 10 circuito de confinamiento de tensión, de alta tensión y alta corriente 130, interpuesto entre los primer y segundo  
 terminales, 13 y 15. Un tubo de electrones de emisión de campo de cátodo frío y bidireccional, o tubo Bi-tron 140, de  
 la misma descripción que el anteriormente descrito tubo Bi-tron 23 de la Figura 1, tiene, preferiblemente, su electrodo  
 más exterior o catánodo 141, comparable al catánodo 29 de la Figura 2, conectado a la toma de tierra 145 a través de  
 una resistencia 148, y su electrodo central o catánodo 143, conectado a un conductor 150 que suministra corriente al  
 circuito de regulación de corriente 120. El tubo Bi-tron 140 tiene una cierta tensión de funcionamiento de umbral. Una  
 primera rejilla de control 142 está asociada con el electrodo exterior o catánodo 141 del tubo Bi-tron 140, y una segunda  
 rejilla de control 144 está asociada con el electrodo interior o catánodo 143 del tubo Bi-tron 140. Estas rejillas 142 y  
 144 proporcionan unos medios para el control del flujo de corriente a través del tubo Bi-tron 140.

15 Un circuito externo para polarizar el tubo Bi-tron 140, que comprende la resistencia 148 y las resistencias 152, 154 y  
 157, por ejemplo, se utiliza para ajustar una tensión de funcionamiento de umbral para el funcionamiento del tubo 140.  
 La selección de valores de componentes así como las variaciones de los circuitos de polarización constituirán la  
 práctica rutinaria para las personas con conocimientos ordinarios de la técnica, basándose en la presente memoria.  
 Puede proporcionarse un primer filtro de paso bajo 160, preferiblemente de ferrita, entre el primer terminal 13 y el  
 circuito regulador de corriente bidireccional 120 para la supresión de los transitorios por debajo de la antes mencionada  
 tensión de funcionamiento de umbral del tubo Bi-tron 140. El uso de un filtro de ferrita evita, ventajosamente, las  
 resonancias ferromagnéticas en el circuito protegido.

20 El circuito de polarización mencionado para el tubo Bi-tron 140 consigue un confinamiento de la tensión hasta un valor  
 predeterminado al drenar selectivamente el exceso de tensión desde el primer terminal 13 a tierra en virtud de la  
 configuración en derivación en que se ha configurado el tubo Bi-tron 140 en el circuito de la Figura 7. Una persona  
 con conocimientos ordinarios de la técnica encontrará propio de la práctica rutinaria diseñar el mencionado circuito de  
 polarización para el tubo Bi-tron 140, a la vista de la presente memoria.

25 Preferiblemente, el circuito de confinación de tensión 130 precede al circuito regulador de corriente bidireccional 120  
 en el sentido del flujo de potencia, en una red de distribución de energía eléctrica. Esto es debido a que el ángulo de  
 fase de la corriente está retrasado 90 grados con respecto al ángulo de fase de la tensión, y pueden ser preferibles  
 los transitorios de tensión de confinamiento con el circuito de confinamiento de tensión 130, antes de regular la  
 corriente con el circuito regulador de corriente 120. Sin embargo, el circuito de confinamiento de tensión 130 puede  
 seguir el circuito regulador de corriente bidireccional 120 en la dirección del flujo de potencia, en una red de suministro  
 de energía eléctrica.

30 En el circuito regulador de corriente bidireccional 120, puede utilizarse un segundo filtro de paso bajo 170,  
 preferiblemente de ferrita, para suprimir cualesquiera transitorios que puedan haber escapado a una filtración o  
 supresión previas.

35 Una alternativa al uso de un tubo Bi-tron 140 en el circuito de confinamiento de tensión 130 de la Figura 6 es utilizar  
 el par de tubos de electrones de emisión de campo de cátodo frío, conectados entre sí por sus partes traseras, o en  
 disposición antiparalela, 24 y 25, de la Figura 3.

Lo que sigue es una lista de números de referencia y de sus partes asociadas, tal como se utilizan en esta memoria y  
 en los dibujos:

Número de referencia	Parte
10	Circuito regulador de corriente de alta tensión
13	Primer terminal
15	Segundo terminal
18	Lazo de línea discontinua
20	Lazo de línea discontinua
23	Tubo de tetrodo de emisión de campo de cátodo frío y bidireccional / tubo Bi-tron
24	Tubo de electrones de emisión de campo de cátodo frío
25	Tubo de electrones de emisión de campo de cátodo frío
26	Catánodo
27	Electrodo portador de corriente principal
28	Rejilla
29	Catánodo

ES 2 683 772 T3

Número de referencia	Parte
30	Electrodo portador de corriente principal
31	Rejilla
33	Rejilla
34	Rejilla
35 y 1035	Tubo de electrones de alta tensión / tubo Pulsatron
37 y 1037	Ánodo
39 y 1039	Cátodo
42 y 1042	Resistencia
44 y 1044	Resistencia ajustable
47	Resistencia en derivación
50 y 1050	Resistencia
52 y 1052	Resistencia
55 y 1055	Condensador
58 y 1058	Condensador
64 y 1064	Resistencia
66 y 1066	Resistencia
70	Transformador trifásico
72	Arrollamiento primario
74	Arrollamiento secundario
80	Transformador trifásico
82	Arrollamiento secundario
84	Arrollamiento primario
87	Terreno
88	Toma de tierra al terreno
89	Toma de tierra al terreno
90	Corriente geomagnéticamente inducida
91	Regulador de corriente
92	Resistencia
93	Derivación de corriente de alta velocidad
94	Conexión de cable coaxial
95	Regulador de corriente
96	Resistencia
97	Derivación de corriente de alta velocidad
98	Conexión de cable coaxial
100	Circuito diferenciador de CC – CA
101	Terminal de entrada
103	Terminal de salida
104	Amplificador diferencial
105	Toma de tierra

Número de referencia	Parte
106	Disparador de Schmidt
110	Regulador de corriente
111	Conductor
112	Regulador de corriente
113	Conductor
114	Regulador de corriente
115	Conductor
120	Circuito regulador de corriente
130	Circuito de confinamiento de tensión, de alta tensión y alta corriente
140	Tubo de electrones de emisión de campo de cátodo frío y bidireccional, o tubo Bi-tron
141	Electrodo más exterior o catánodo
142	Primera rejilla de control
143	Electrodo central o catánodo
144	Segunda rejilla
145	Toma de tierra
148	Resistencia
150	Conductor
152	Resistencia
154	Resistencia
157	Resistencia
160	Primer filtro de paso bajo
170	Segundo filtro de paso bajo

5 Si bien la invención se ha descrito con respecto a realizaciones específicas a modo de ilustración, pueden ser posibles modificaciones dentro del alcance de la presente invención, definida por las reivindicaciones que se acompañan. Por ejemplo, si bien el regulador de alta tensión y alta corriente antes descrito de la presente invención está destinado fundamentalmente al funcionamiento en circuitos de CA, funcionará de forma igualmente efectiva en circuitos de CC y de pseudo-CC. Adicionalmente, mientras la geometría de electrodos cilíndricos es la preferida para los diversos tubos de electrones descritos en esta memoria, similar o igualmente a la geometría mostrada en la Figura 2, es posible utilizar tubos de electrones que tienen otras geometrías, tales como plana, arqueada o esférica, a modo de ejemplo.

**REIVINDICACIONES**

1.- Un circuito regulador de alta tensión y alta corriente, destinado a ser interpuesto entre unos primer y segundo terminales que están destinados a ser conectados a un circuito externo, que comprende:

5 a) un circuito de regulación de corriente bidireccional (10, 120), conectado entre los primer y segundo terminales (13, 15) para recibir y regular la corriente entre los primer y segundo terminales (13, 15); de tal manera que el circuito regulador de corriente comprende al menos un tubo de electrones de emisión de campo de cátodo frío (23, 24/25), portador de corriente principal, que conduce la corriente entre los primer y segundo terminales (13, 15);

caracterizado por que:

10 b) el al menos un tubo de electrones de emisión de campo de cátodo frío (23, 24/25), portador de corriente principal, tiene electrodos portadores de corriente principal (26, 29), de geometría cilíndrica concéntrica y que tienen unas primera y segunda rejillas de control (28, 31, 33, 34) para controlar la conducción de la corriente entre los primer y segundo terminales (13, 15) cuando la tensión en los primer y segundo terminales (13, 15) es positiva y negativa, respectivamente; y por que el circuito regulador comprende, de manera adicional,

15 c) unos primer y segundo tubos de electrones de emisión de campo de cátodo frío (35, 1035), de control de rejilla, que proporcionan, respectivamente, señales de control para dichas primera y segunda rejillas de control (28, 31, 33, 34).

20 2.- El circuito regulador de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual unos circuitos de reducción de armónicos (42, 58, 1042, 1058) están conectados a las primera y segunda rejillas de control (28, 31) con el fin de reducir la generación de tensiones que son armónicos de una frecuencia principal de tensión presente en los primer y segundo terminales (13, 15).

3.- El circuito regulador de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual el al menos un tubo de electrones de emisión de campo de cátodo frío (24, 25), portador de corriente principal, comprende un par de tubos de electrones de emisión de campo de cátodo frío (24, 25), conectados entre sí por sus partes traseras.

25 4.- El circuito regulador de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual el al menos un tubo de electrones de emisión de campo de cátodo frío (23), portador de corriente principal, comprende un único tubo de electrones de emisión de campo de cátodo frío, que tiene unos primer y segundo cátodos (26, 29) y rejillas de control primera y segunda (28, 31), respectivamente asociadas.

30 5.- El circuito regulador de acuerdo con la reivindicación 1, de tal manera que el circuito regulador de corriente bidireccional se ha diseñado para regular la corriente entre dichos primer (13) y segundo (15) terminales a un valor nulo en una función analógica continua, cuando se desee, mediante el ajuste de la cantidad de corriente en dicho al menos un tubo de electrones de emisión de campo de cátodo frío (23, 24/25), portador de corriente principal, de tal manera que este puede ser utilizado como disyuntor de circuito.

35 6.- El circuito regulador de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende adicionalmente un circuito de confinamiento de tensión (130), interpuesto entre los primer (13) y segundo (15) terminales; de tal manera que el circuito de confinamiento de tensión (130) comprende:

40 a) un confinador de tensión bidireccional, que incluye al menos un tubo de electrones de emisión de campo de cátodo frío (140); de tal manera que el confinador de tensión bidireccional tiene una tensión de funcionamiento de umbral que es ajustable de acuerdo con las respectivas señales de control proporcionadas a las primera (142) y segunda (144) rejillas de control que están asociadas con el al menos un tubo de electrones de emisión de cátodo frío (140); de tal manera que las primera (142) y segunda (144) rejillas de control son receptoras de respectivas señales de control para modular la tensión en un camino de conducción de corriente principal entre los primer y segundo terminales (13, 15); y

b) un circuito (148, 152, 154, 157) para polarizar el confinador de tensión por medio de dichas primera y segunda rejillas de control (142, 144), a fin de establecer dicha tensión de funcionamiento de umbral.

45 7.- El circuito regulador de acuerdo con la reivindicación 6, que comprende, de manera adicional:

a) un o más filtros de paso bajo para la supresión de los transitorios de tensión, en dicho camino de conducción de corriente principal, por debajo de dicha tensión de umbral de dicho circuito regulador; de tal manera que cada uno de dichos filtros de paso bajo comprenden un condensador;

50 b) de forma que cada condensador comprende un manguito de filtro de ferrita (303), colocado en un primer conductor (305) del condensador y colocado dentro de un segundo conductor tubular circundante (307) del condensador; de tal modo que el segundo conductor (307) está conectado eléctricamente a tierra; y

c) el manguito de filtro de ferrita (303), que constituye una placa interior de un condensador, y el segundo conductor (307), que constituye la placa exterior de dicho condensador.

8.- Un método de uso del circuito regulador de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende las etapas de:

- a) interponer el circuito regulador de corriente bidireccional (10) en un conductor portador de corriente de una red de distribución de energía eléctrica; y
- b) configurar el circuito regulador de corriente bidireccional para suprimir un estado de corriente excesiva en la red de distribución de energía eléctrica.

5

9.- Un método para utilizar el circuito regulador de la reivindicación 1, que comprende las etapas de:

- a) interponer el circuito regulador de corriente bidireccional (10) en un conductor portador de corriente de una red de distribución de energía eléctrica;
- b) regular la red de distribución de energía eléctrica de tal manera que la tensión en las líneas de transmisión eléctrica sea aproximadamente constante; y
- c) configurar el circuito de regulación de corriente bidireccional para que controle el flujo de potencia a través de dicho conductor portador de corriente.

10

10.- Un método para utilizar el circuito regulador de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende las etapas de:

- a) interponer el circuito regulador de corriente bidireccional (10) en una pata de toma de tierra de un arrollamiento conectado en estrella (74, 82) de equipo eléctrico de una red de distribución de energía eléctrica;
- b) proporcionar un circuito diferenciador de CC – CA (100) para discriminar entre señales de CA y de CC o pseudo-CC en dicha pata de toma de tierra y para generar una señal de control al objeto de hacer que la función reguladora de corriente sea puenteada durante la presencia de una señal transitoria de CA indeseada; de tal manera que el circuito diferenciador de CC – CA (100) permite una capacidad funcional reguladora de corriente en presencia de corrientes geomagnéticamente inducidas en dicha pata de toma de tierra, al objeto de evitar daños en dicho equipo eléctrico.

15

20

11.- El circuito regulador de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual cada uno de los primer y segundo tubos de electrones de emisión de campo de cátodo frío, de control de rejilla, tiene una rejilla de control respectiva.

25

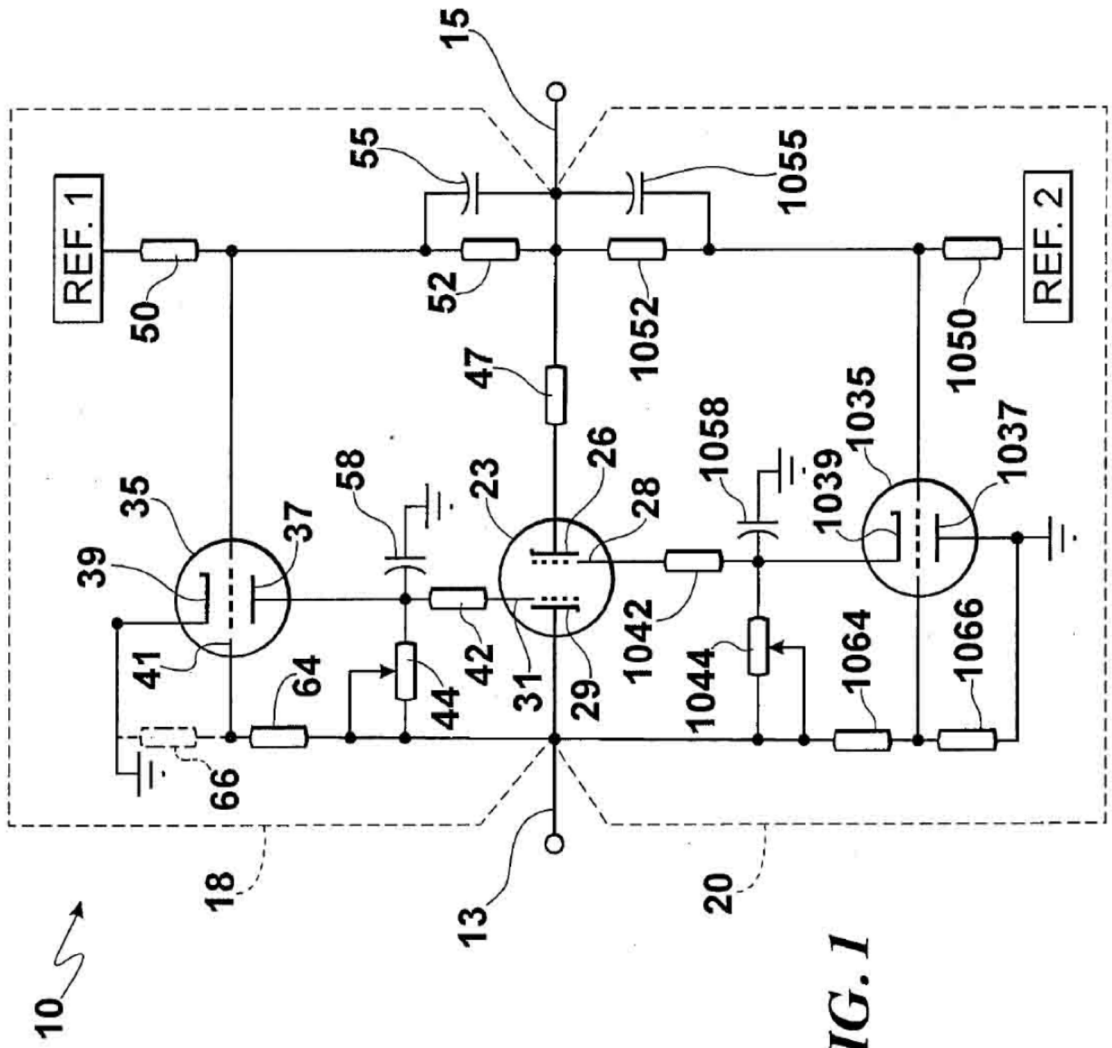
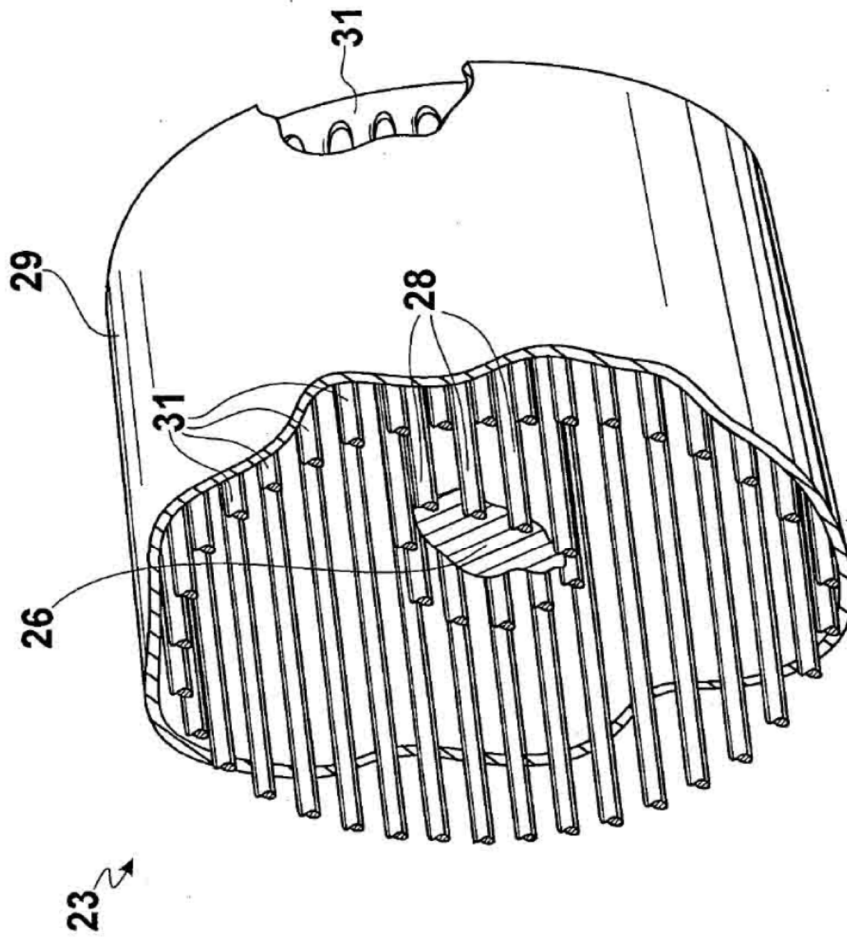
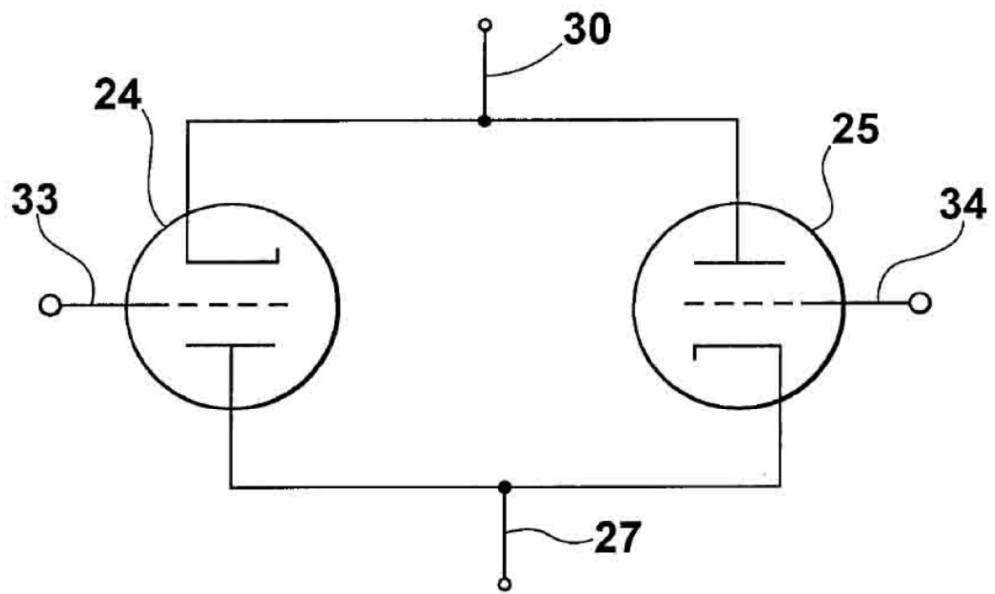


FIG. 1

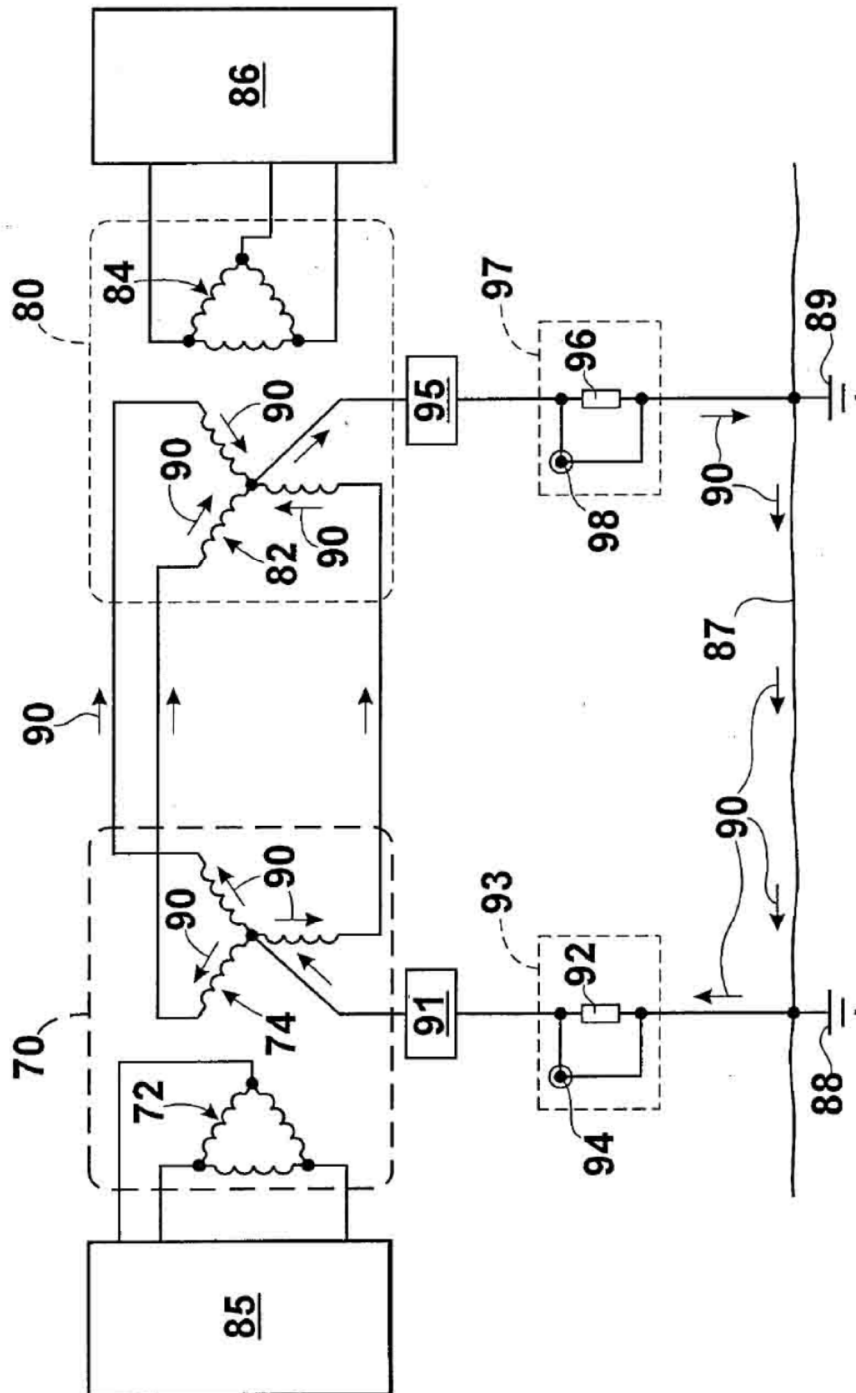


**FIG. 2**

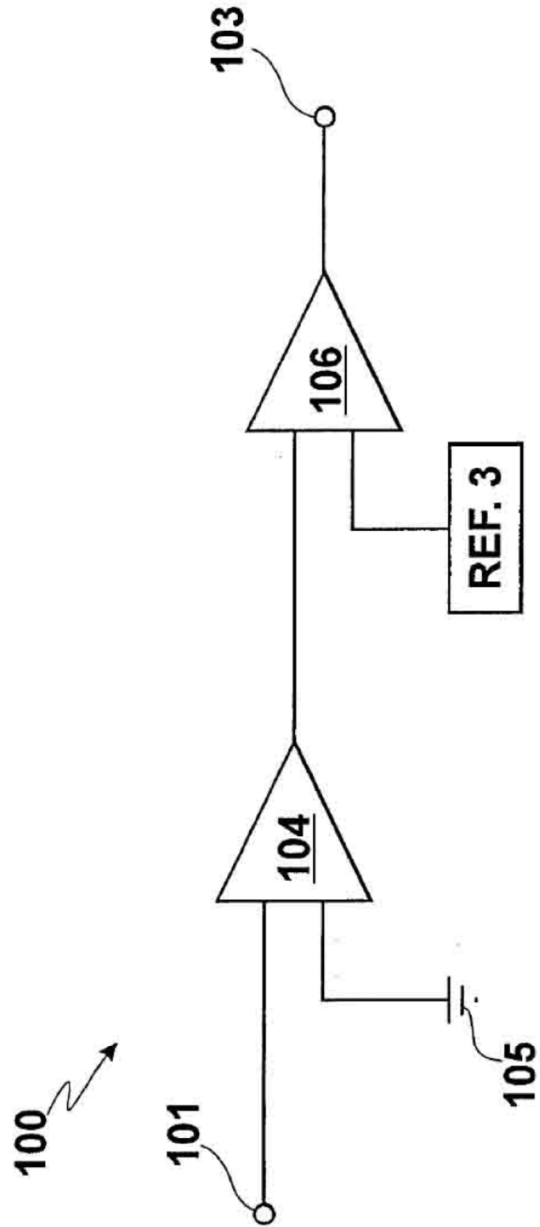


**FIG. 3**





**FIG. 4**



**FIG. 5**

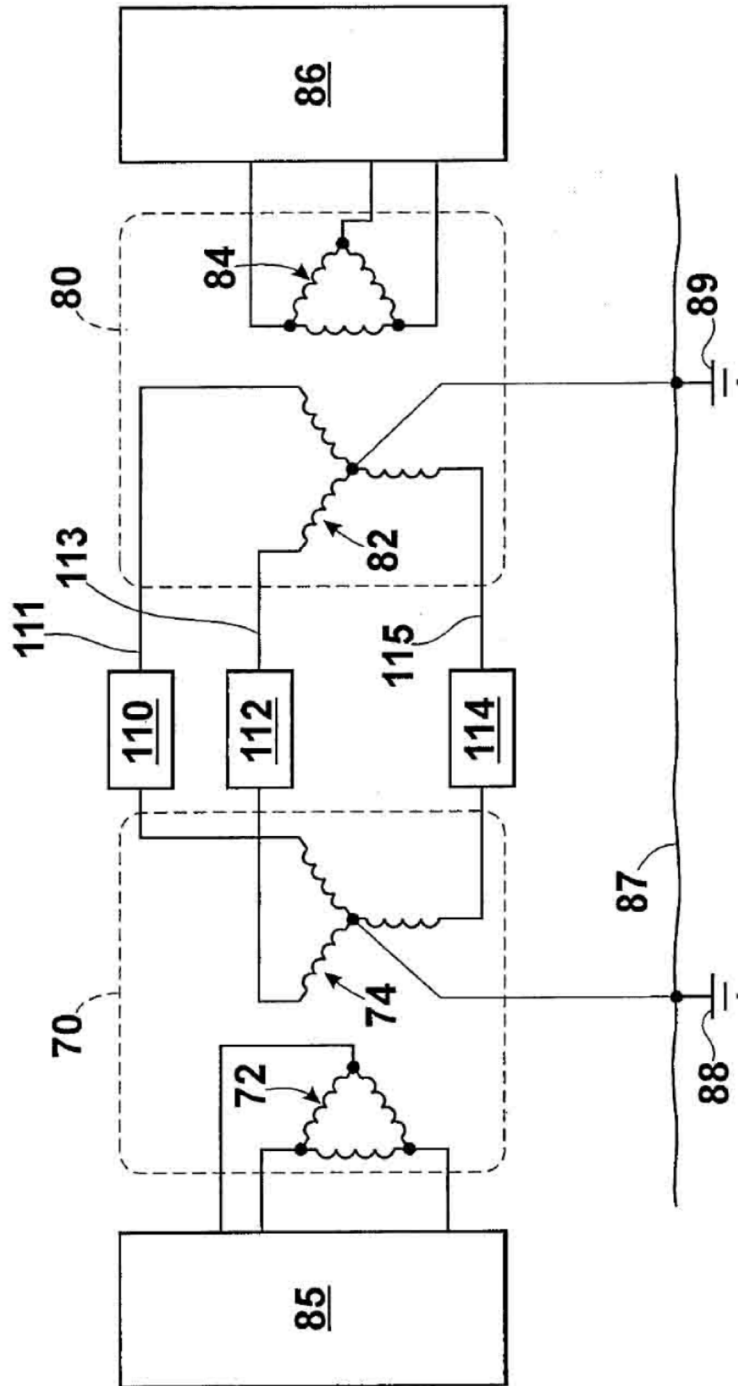


FIG. 6

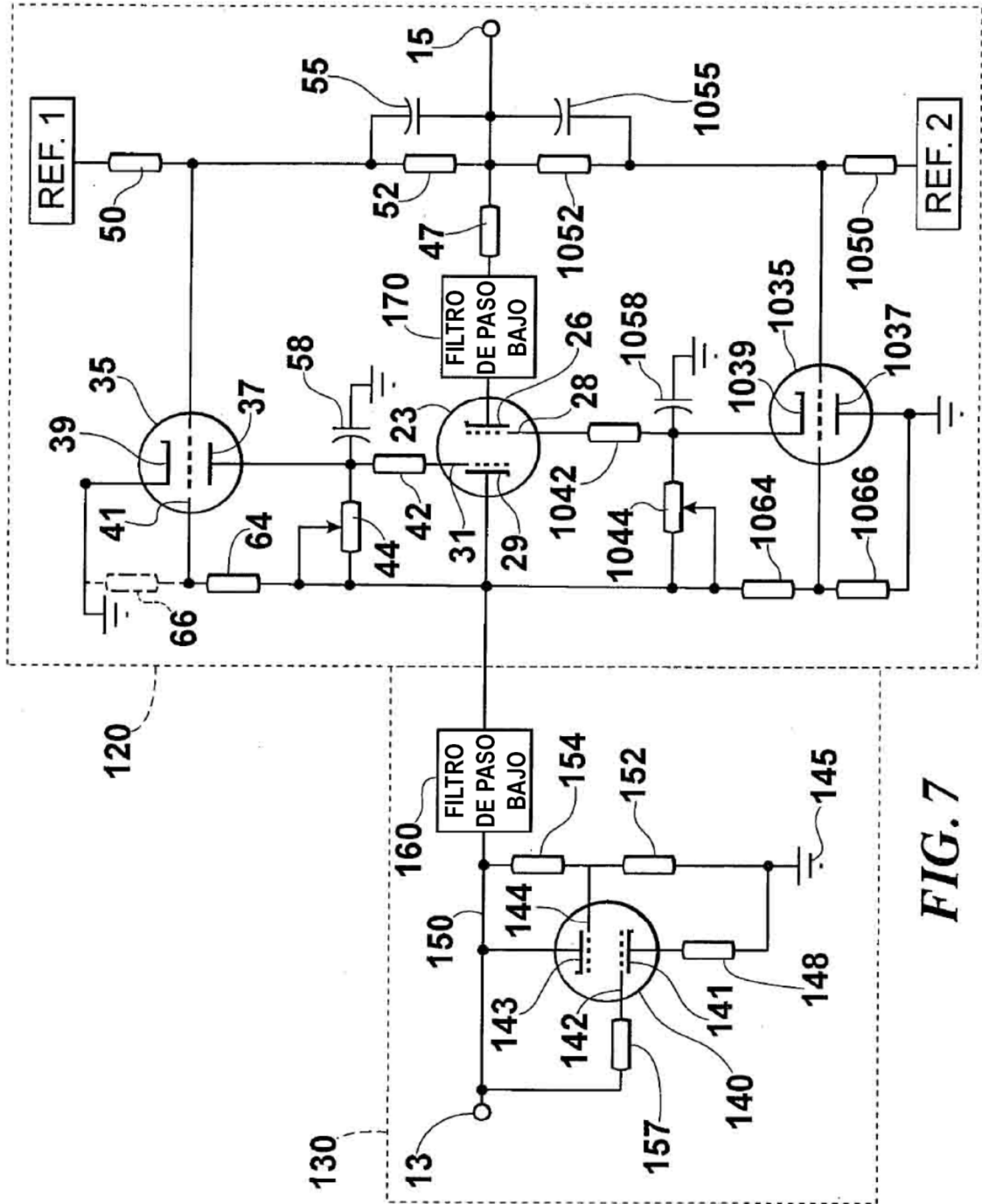


FIG. 7