

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 624 555**

51 Int. Cl.:

H02M 3/00 (2006.01)

H02M 7/51 (2006.01)

H01J 17/44 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.01.2009 PCT/US2009/031904**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.07.2009 WO09094589**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.01.2009 E 09703610 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.03.2017 EP 2243210**

54 Título: **Inversor de alta tensión**

30 Prioridad:
24.01.2008 US 62154 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.07.2017

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:
DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 624 555 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

Inversor de alta tensión

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a inversores que incluyen la función de conversión de potencia de CC en potencia de CA y, más particularmente, a inversores de alta tensión, en los que las tensiones de CC de entrada exceden de 20 kV.

Antecedentes de la invención

10 Las tecnologías de inversores de la técnica anterior para convertir CC a tensiones que exceden de 20 KV a potencia de CA incluyen tubos de vapor de mercurio y dispositivos de estado sólido. Ambas tecnologías tienen inconvenientes que sería deseable evitar.

15 Los tubos de vapor de mercurio tienen el inconveniente de ser ambientalmente peligrosos si el vapor de mercurio en los tubos escapa al medio ambiente. Los dispositivos de estado sólido tienen el inconveniente de comprender grandes bancos de muchos dispositivos de estado sólido conectados en paralelo, tales como tiristores (por ejemplo, rectificadores controlados por silicio). Aparte del factor de coste y de las complicaciones de requerir muchos dispositivos conectados en paralelo, la fiabilidad se reduce porque la probabilidad de que uno de muchos dispositivos componentes falle excede en gran medida la probabilidad de que un solo dispositivo falle, asumiendo que la tasa de fallos por dispositivo sea la misma.

20 Un tipo de inversor se describe en la patente US 3.156.846. La patente anterior divulga un "inversor paralelo, externamente excitado, que tiene dos tiratronas de tipo gaseoso 10", y en el que se produce un "flujo continuo de corriente continua a través de las tiratronas". Col. 2, líneas 15-16 y líneas 40-42.

La patente US 4.950.962 divulga un "conmutador de alta tensión que emplea un cátodo frío de gran área alargada axialmente simétrico y rodeado por un ánodo alargado, y una red que actúa como una puerta interpuesta entre el cátodo y el ánodo". Col. 1, líneas 48-52. La patente anterior se describe adicionalmente en la descripción detallada de la invención siguiente.

25 Sería deseable proporcionar un inversor de alta tensión que incluya la función de convertir potencia de CC en potencia de CA que pueda tener un número bajo de piezas, que presente alta fiabilidad y que no sea peligroso para el medio ambiente.

Breve descripción de los dibujos

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

30 **La figura 1** es un diagrama esquemático de un inversor de alta tensión para convertir la potencia de CC en potencia de CA que tiene una sola fase.

La figura 2 es una vista en perspectiva simplificada de un tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío de estructura de triodo que se puede usar en la presente invención;

35 **La figura 3A** es un diagrama esquemático, parcialmente en forma de bloques, de un inversor de alta tensión trifásico con monitorización de fase y equilibrado de potencia de acuerdo con un aspecto de la presente invención;

La figura 3B es un diagrama esquemático, parcialmente en forma de bloques, de una red de distribución de energía eléctrica;

La figura 4 es un diagrama esquemático del circuito 86 de fase de entrada de CA del inversor de alta tensión de la **figura 3A**;

40 **La figura 5** es un diagrama esquemático de un circuito de ajuste de corriente del circuito de fase de entrada de CA mostrado en la **figura 4**;

La figura 6 es un diagrama esquemático de un inversor de alta tensión y un rectificador de CA a CC para proporcionar una salida de CC de alta tensión; y

45 **La figura 7** es un diagrama esquemático, parcialmente en forma de bloques, del inversor de alta tensión y del rectificador de CA a CC de la **figura 6** cuando se conecta a una red de distribución de energía eléctrica.

Sumario de la invención

La presente invención proporciona, en una forma preferida, un inversor de alta tensión para convertir potencia de CC en potencia de CA con una o más fases de salida de CA. El inversor de alta tensión tiene para cada fase de salida de CA, un circuito de fase de entrada de CA que comprende un primer y un segundo tubos de electrones de emisión

controlable de campo de cátodo frío de estructura de triodo, tetrodo o pentodo. Cada tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío tiene un primer nodo de entrada para su conexión a un potencial de CC de alta tensión superior a 20 KV y un segundo nodo de entrada para su conexión a tierra. Un devanado de transformador primario tiene un primer extremo, un segundo extremo y una toma central. El primer tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío está conectado en serie entre el primer extremo del devanado del transformador primario y tierra y el segundo tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío está conectado en serie entre el segundo extremo del devanado del transformador primario y tierra. Los circuitos de control controlan los tubos de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío de modo que el primer y segundo tubos de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío conducen alternativamente para llevar alternativamente el primer extremo del devanado primario al potencial de tierra y llevar el segundo devanado del transformador primario aproximadamente al potencial de tierra.

Realizaciones preferidas del inversor de alta tensión anterior incluyen la función de convertir potencia de CC en potencia de CA, mientras tienen un número bajo de piezas, exhiben alta fiabilidad, y no son ambientalmente peligrosos.

15 Descripción detallada de la invención

La figura 1 muestra un inversor 10 de alta tensión preferido para convertir CC de alta tensión en CA. La salida del inversor 10 de alta tensión proporciona preferiblemente una tensión superior a 10 KV y con una frecuencia de CA en el intervalo de aproximadamente 50 a 400 ciclos por segundo. El circuito de fase de entrada de CA 20 convierte en CC de alta tensión de CA que se suministra entre el nodo de entrada 26 y una conexión a tierra 28.

20 La siguiente descripción cubre las áreas de (1) fases de entrada de CA del inversor de alta tensión de la presente invención, (2) un inversor de alta tensión que incorpora sincronización de fase y monitorización de fase y equilibrio de potencia de una red de distribución de energía eléctrica, y (3) un inversor de CC a CC de alta tensión.

1. Circuito de fase de entrada de CA

25 El circuito 20 de fase de entrada CA de la **figura 1** incluye tubos de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío 30 y 32 de estructura de triodo. Alternativamente, tales tubos de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío podrían reemplazarse por tubos de estructura de tetrodo o pentodo con ajustes apropiados a los circuitos, como sería obvio para una persona con conocimientos ordinarios en la técnica. **La figura 2** muestra un tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío 38 preferido de estructura de triodo. En la **figura 2**, el tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío 38 incluye un cátodo cilíndrico 40 rodeado por una red cilíndrica 42, que a su vez está rodeada por un ánodo cilíndrico 44. El cátodo 40, la red 42 y el ánodo 44 están dispuestos axialmente entre sí a lo largo de sus ejes cilíndricos centrales. Otros detalles del tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío 38 se pueden encontrar en la patente US 4.950.962, concedida el 21 de agosto de 1990 y titulada "Tubo de conmutación de alta tensión". Las constantes de tiempo del circuito divulgado en la patente anterior se ajustan para proporcionar una velocidad de conmutación que sea suficientemente alta para permitir el uso eficiente de la salida acoplada al transformador del inversor 10 de alta tensión de la **figura 1**.

35 El inversor 10 de alta tensión de la **figura 1** utiliza preferiblemente el tubo 38 de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío de la **figura 2** y la anterior patente US 4.950.962. Esto se debe a la combinación de las cualidades del tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío 38 de capacidad de alta tensión, alta capacidad de corriente y alta disipación térmica. Para las aplicaciones de la estación de generación de energía y de la línea de transmisión del inversor 10 de alta tensión, es posible y práctico construir tubos de electrones controlables de emisión de cátodo frío como el tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío 38, que operará continuamente a tensiones superiores a 20 KVCC (por ejemplo, 1 millón de VCC). En aplicaciones de transmisión de potencia, las corrientes continuas típicas se encuentran en el intervalo de Kiloamperios. Si el inversor 10 de alta tensión de la figura 1 se usa como una estación de generación de energía, pueden usarse otros tubos de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío en el inversor 10 de alta tensión de la **figura 1**, siempre que estén diseñados para operar continuamente en el entorno exigente de una estación de generación de energía.

40 Asumiendo una corriente continua de 10 Kiloamperios (aproximadamente 5 veces la línea de transmisión de HVCC mayor contemporánea) y asumiendo el uso del tubo 38 de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío de la **figura 2** y la patente US 4.950.962 mencionada anteriormente, las separaciones entre el cátodo 40, la red 42 y el ánodo 44 cumplirían ciertos requisitos geométricos. Típicamente, por ejemplo, la relación de separación del ánodo 44 y la red 42 con respecto a la separación de la red 42 y el cátodo 40 puede ser de aproximadamente 10 a 1. La selección de estas separaciones será obvia para las personas con conocimientos ordinarios en la técnica, basándose en la presente divulgación. El ánodo 44 puede estar formado como la superficie interior de una camisa refrigerada por líquido para control térmico. El cátodo 40 y la red 42 también se pueden refrigerar, si es necesario. Como ejemplo extremo, un inversor con una capacidad de 5 Gigavatios, que es mucho más alta que cualquier aplicación realista, muestra la combinación de la capacidad de gestión de potencia sustancial frente al tamaño compacto. Esta es una fracción del tamaño de los dispositivos de tecnología existentes, que son en su mayoría tiristores y tubos de vapor de mercurio.

En la **figura 1**, la tensión de entrada de CC aparece entre el nodo de entrada 26 y la conexión a tierra 28 excede de 20 KV. El circuito de fase de entrada CA 20 incluye tubos 30 y 32 de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío como se ha descrito anteriormente, con sus ánodos 30a y 32a conectados a tierra 28. El cátodo 30b del tubo 30 de electrones de emisión controlada de campo de cátodo frío está conectado a un primer extremo de un devanado 48 de transformador primario, mostrado como el extremo superior del devanado. El cátodo 32b del tubo 32 de electrones de emisión controlada de campo de cátodo frío está conectado de manera similar a un segundo extremo del devanado 48 de transformador primario, mostrado como el extremo inferior del devanado. Las redes 30c y 32c de los tubos 30 y 32 de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío están conectadas a circuitos temporizadores, incluyendo, para la red 30c, la resistencia 50 y el condensador 52, y para la red 32c, la resistencia 54 y el condensador 56. Un extremo de las resistencias 50 y 54 está conectado a una toma central 48a del devanado 48 del transformador primario. Adicionalmente, una resistencia 58 y un diodo p-n 60 están asociados con el tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío 30 y sirven una función de bloqueo de tensión inversa. De forma similar, una resistencia 62 y un diodo p-n 64 están asociados con el tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío 32 y sirven una función de bloqueo de tensión inversa. Como es sabido, un diodo p-n puede ser reemplazado por otros tipos de válvulas de corriente unidireccionales.

Una consideración de diseño importante para un inversor de alta tensión de acuerdo con la presente invención es el diseño del transformador 19 (figura 1). A diferencia de los circuitos convencionales de inversor de alta tensión, el transformador 19 puede ser probablemente un transformador reductor o posiblemente un transformador 1:1, construido para operar a altas tensiones.

También hay topologías de inversor que no requieren transformadores. La eliminación del transformador es deseable para reducir el coste y acelerar la fabricación de un inversor, pero, desde una perspectiva de seguridad, la presencia de un transformador para aislamiento no solo es deseable, sino que a menudo es obligatoria. La decisión de qué topología utilizar se realizaría por parte de una compañía eléctrica y cualquier ingeniero arquitecto para la compañía eléctrica.

2. Inversor de alta tensión con sincronización de fases y, opcionalmente, monitorización de fase y equilibrio de potencia de una red de distribución de energía eléctrica

En contraste con el circuito de fase de entrada de CA simple 20 del inversor 10 de alta tensión de la **figura 1**, que es un circuito de una sola fase, un inversor alternativo puede tener múltiples circuitos de fase de entrada de CA, tal como en el inversor 70 de alta tensión de la **figura 3A**. El inversor de alta tensión 70 incluye los tres circuitos de fase de entrada de CA 86, 88 y 90. Correspondientes a los tres circuitos de fase de entrada de CA 86, 88 y 90 hay tres fases de salida de CA asociadas mostradas por los tres devanados secundarios conectados en estrella 71a. Los inversores alternativos de alta tensión de acuerdo con la presente invención pueden tener otros números de circuitos de fase de salida de CA, tal como seis o doce circuitos de fase de salida de CA, por ejemplo. A continuación, se describen circuitos de control de fase apropiados para asegurar la sincronización requerida de varias fases en una red de distribución de energía eléctrica y separación de ángulo de fase entre circuitos de fase de entrada de CA cuando no están conectados a dicha red.

Opcionalmente, un inversor de alta tensión de múltiples fases de la presente invención puede incorporar beneficiosamente la monitorización de fase y el equilibrado de potencia en una red de distribución de energía eléctrica en la que está conectado, en el que el equilibrio de potencia tiene lugar de manera casi instantánea (por ejemplo, en microsegundos).

La **figura 3A** muestra un inversor 70 de alta tensión, tal como se ha descrito ahora, que logra sincronización con una red de distribución de energía eléctrica y, opcionalmente, equilibrado de potencia en dicha red. El inversor 70 de alto tensión incluye un transformador de salida 71 con bobinados de salidas 71a conectados en estrella. Los devanados conectados en delta podrían ser utilizados en su lugar.

Para generar una salida de CA trifásica desde una única fuente HVDC entrante como en el inversor 10 de alta tensión de la **figura 1**, es necesario generar 3 señales de reloj (no mostradas) que están desfasadas 120° entre sí. Estas señales deben sincronizarse en fase con la red 72 de distribución de energía eléctrica mostrada en la **figura 3A** en forma de bloque. La red 72 de distribución de energía eléctrica se detalla en la **figura 3B**. La **figura 3B** muestra una pluralidad de unidades de generación de potencia 72a, una pluralidad de subestaciones 72b, y una pluralidad de usuarios 72c. El presente inversor de alta tensión 70 de la **figura 3A** podría implementar una o más unidades de generación de potencia 72a. Las subestaciones 72b dirigen energía eléctrica a los usuarios 72c a través de líneas de distribución 72d, solo algunas de las cuales están numeradas.

Para llevar a cabo la sincronización de fase a la red 72 de distribución de energía eléctrica, los transductores de fase 74, 76 y 78 monitorizan continuamente la carga y el ángulo de fase de cada circuito de fase de salida de CA unido a la red 72 de distribución de energía eléctrica. Por ejemplo, los monitores de corriente pueden proporcionar señales de control que son proporcionales al equilibrio de potencia de la red de distribución. El circuito de monitorización 80 produce un conjunto de tres señales que corresponden a las condiciones instantáneas de los circuitos de fase de salida de CA de la red 72 de distribución de energía eléctrica. Estas señales se introducen en un ordenador central 82, donde se digitalizan y se alimentan en memorias intermedias separadas (no mostradas) para su uso posterior.

El ordenador central 82 tiene un circuito de interfaz de salida 84 que contiene componentes para diversos circuitos de control, que se describirán más adelante, y establece el ángulo de circuito de fase de entrada de CA para cada uno de los circuitos de fase de entrada de CA 86, 88 y 90. Como se explica más adelante, el circuito de interfaz de salida 84 puede opcionalmente controlar la cantidad de energía que se permite pasar a través de la entrada de CA respectiva para cada circuito de fase.

Si el inversor 70 de alta tensión de la **figura 3A** no está conectado a una red de distribución de energía eléctrica, el ordenador central 82 hará que el circuito de interfaz de salida 84 transmita señales a los circuitos de fase de entrada de CA 86, 88 y 90 para ajustar el ángulo de fase de cada uno con una separación de 120° entre sí. El circuito de interfaz de salida 84 transmite dichas señales a los circuitos de fase de entrada de CA anteriores a través de líneas de control 86a, 86b, 88a, 88b y 90a, 90b.

Por otra parte, si el inversor 70 de alta tensión de la **figura 3A** está conectado a la red de distribución de energía eléctrica 72, el modo predeterminado del ordenador central 82 es hacer que el circuito de interfaz de salida 84 transmita señales a los circuitos de fase de entrada de CA 86, 88 y 90 para sincronizar los circuitos de fase de entrada de CA 86, 88 y 90 a las fases de la red 72 de distribución de energía eléctrica.

De acuerdo con un aspecto preferido de la invención, es deseable que se utilicen circuitos de control para distribuir rápidamente la energía entrante a través de los tres circuitos de entrada de CA en respuesta a cambios en la carga de fase de la red. Esto puede ser de enorme beneficio para el mantenimiento de la red de distribución de energía eléctrica y la protección del equipo en la red.

Pueden realizarse cambios rápidos en la distribución de potencia a los circuitos de fase de salida de CA mediante el inversor 70 de alta tensión (**figura 3A**). El ordenador central 82 tiene un circuito de interfaz de salida 84 que contiene componentes para diversos controles, que se describirán más adelante, que controla la cantidad de energía que se permite pasar a través del respectivo inversor para cada circuito de fase de entrada de CA. Como se ha mencionado anteriormente, los transductores de fase 74, 76 y 78 monitorizan continuamente la carga y el ángulo de fase de cada circuito de fase de salida unido a la red de distribución de energía eléctrica 72 y pueden determinar las diferencias en las cargas de fase entre cada uno de los tres circuitos de fase de salida de CA en la red de distribución de energía eléctrica.

Para equilibrar la potencia de las fases de salida de CA, un programa de ordenador simple en el ordenador central 82 realiza el siguiente algoritmo:

1. Examinar los valores de fase en las tres memorias intermedias mencionadas anteriormente y en relación con el equilibrio de potencia de la red de distribución de energía eléctrica.
2. Si los valores son iguales, entonces se hace que el circuito de interfaz de salida 84 envíe señales idénticas, separadas 120° en fase, a cada una de las tres etapas de salida.
3. Si los valores de la memoria intermedia de entrada no son iguales, se envía una cantidad creciente de energía a la(s) memoria(s) intermedia(s) con valores bajos hasta que las tres memorias intermedias tengan valores iguales.

El algoritmo anterior se puede implementar en cualquiera de una serie de lenguajes de programación. La elección del idioma se determina mediante la selección del ordenador central y del software operativo. También es posible implementar este algoritmo en firmware como un conjunto de circuitos analógicos de control de retroalimentación negativa convencionales. Hay muchas topologías adecuadas para este firmware que serán obvias para las personas con conocimientos ordinarios en la técnica en base a la presente divulgación. Es más fácil implementar este sistema con un ordenador digital, pero es más fiable implementarlo con un diseño de firmware.

La **figura 4** muestra un circuito que puede implementar un circuito de fase de entrada de CA 86 del inversor 70 de alta tensión de la **figura 3A**. En la **figura 4**, un circuito de modulación 94 recibe una señal de control en la línea de control 86a desde el circuito de interfaz de salida 84 de la **figura 3A**. De forma similar, un circuito de modulación 96 recibe una señal de control en la línea de control 86b desde el circuito de interfaz de salida 84 de la **figura 3A**. Los circuitos de modulación 94 y 96 son preferiblemente simétricos entre sí y, por lo tanto, se proporciona aquí una descripción del único circuito de modulación 94.

El circuito de modulación 94 está conectado a los nodos 98 y 100. La **figura 5** muestra el circuito de modulación 94 de la **figura 4**, pero con nodos 98 y 100 orientados en una dirección horizontalmente opuesta a la mostrada en la **figura 4**. Esto es para que el comportamiento de circuito del circuito de modulación 94 en la **figura 5** pueda analizarse de izquierda a derecha, por conveniencia.

El circuito de modulación 94 de la **figura 5** es algo análogo al regulador de corriente FET (transistor de efecto campo) clásico que se encuentra en las fuentes de alimentación de baja tensión. El problema abordado por el circuito de modulación 94 es que no hay dispositivos de tubo de vacío de estado sólido o convencional que son capaces de operar en los regímenes de tensión o corriente contemplados para este diseño. Por consiguiente, el dispositivo de regulación de corriente 102 en serie es preferiblemente un tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío de estructura de triodo, tetrodo o pentodo. El dispositivo de regulación de corriente 102 en

serie puede tener la estructura geométrica mostrada en la **figura 2** y como se describe adicionalmente en la patente US 4.950.962 mencionada anteriormente. Alternativamente, el dispositivo de regulación de corriente en serie 102 puede comprender un dispositivo semiconductor de alta tensión tal como un tiristor. El tubo de control 112 puede implementarse de la misma manera que el dispositivo de regulación de corriente 102 en serie para reducir la diversidad de piezas requeridas, o podría implementarse mediante un dispositivo con requerimientos de tensión y corriente relativamente menores.

En el circuito de modulación 94 de la **figura 5**, la siguiente descripción de la operación supone una fuente de tensión positiva en el nodo de entrada 26 de la **figura 4**. Una resistencia 104 establece una tensión de polarización para la red del dispositivo de regulación de corriente 102 en serie, que funciona como un regulador de corriente en serie. El dispositivo de regulación de corriente 102 en serie es funcionalmente análogo a un FET en este circuito. La corriente que fluye desde el dispositivo de regulación de corriente 102 en serie fluye a través de una resistencia de derivación 106 para desarrollar una tensión a través de dicha resistencia 106. Esta tensión es alimentada a través de un divisor de tensión que comprende resistencias 108 y 110. La red 112a del tubo de control 112 está conectada a la unión de las resistencias 108 y 110. Se aplica una tensión de control al otro lado de la resistencia 108; es decir, en la línea de control 86a. La relación entre la tensión de la resistencia de derivación 106 y la tensión de referencia en la línea de control 86a determina el grado de conducción del tubo de control 112 que, a su vez, controla la conducción del dispositivo de regulación de corriente 102 en serie. El condensador 114 establece una constante de tiempo con la resistencia 108 para asegurar que el circuito permanece en conducción hasta el punto de cruce por cero. Ajustando los valores de la tensión de referencia en la línea de control 86a y los valores de resistencia de las resistencias 108 y 110 que forman un divisor de tensión, pueden implementarse diferentes modos de regulación de corriente. Como se ha mencionado anteriormente, la tensión de referencia en la línea de control 86a se proporciona mediante el circuito de interfaz de salida 84 de la **figura 3A**.

El circuito de modulación 94 puede regular fácilmente el equilibrio de potencia entre respectivos circuitos de fase de salida en un grado muy alto de una potencia promedio a través de los tres circuitos de fase de salida de CA, por ejemplo, al menos aproximadamente un 1 por ciento de una potencia promedio a través de los tres circuitos de fase de salida de CA. Esto es además de la sincronización de las fases de salida de CA conectadas a los devanados 71a del inversor de alta tensión 70 de la **figura 3A** como se ha descrito anteriormente.

Aunque solo el circuito 86 de fase de entrada de CA de la **figura 3A** se ha descrito en detalle anteriormente, los circuitos de fase de entrada de CA 88 y 90 de la **figura 3A** son preferiblemente idénticos al circuito de fase de entrada de CA 86, por lo que no es necesaria una descripción detallada de los circuitos de fase de entrada de CA 88 y 90. Sin embargo, se observará que, en lugar de recibir señales de control del circuito de interfaz de salida 84 en las líneas de control 88a y 88b, el circuito de fase de entrada de CA 88 recibe señales de control en líneas de control 88a y 88b desde el circuito de interfaz de salida 84; y de manera similar el circuito de fase de entrada de CA 90 recibe señales de control en líneas de control 90a y 90b desde el circuito de interfaz de salida 84.

3. Convertidor de alta tensión de CC a CA a CC

La **figura 6** muestra un convertidor de alta tensión 120 de tipo CC a CA a CC con un circuito de fase de entrada de CA 122 similar al circuito de fase de entrada de CA 20 de la **figura 1**, y, por lo tanto, compartiendo con el circuito de fase de entrada de CA 20 numeración común de partes similares. El convertidor de alta tensión 120 tiene una entrada de CC positiva en el nodo de entrada 124 con respecto a una conexión a tierra 126. Un transformador 128 tiene un devanado 130 de transformador primario con una toma central 130a. Un devanado del transformador secundario suministra tensión de CA a un convertidor de CA a CC, que puede incluir un rectificador de puente completo 134 con diodos p-n u otras válvulas de corriente unidireccionales 136 interconectadas como se muestra. La polaridad de salida del rectificador de puente completo 134 puede invertirse invirtiendo las polaridades de los diodos p-n mostrados. La salida del rectificador de puente completo 134 se filtra mediante un circuito de filtro 135 que puede comprender condensadores 137 y 138 y un inductor 140 interconectado como se muestra. El rectificador de puente completo 134 y el circuito de filtro 135 proporcionan una conversión de CA a CC. El nodo de salida 142 del circuito de filtro 135 proporciona una tensión de CC que difiere de la tensión de CC en el nodo de entrada 124. Otros circuitos para realizar la conversión de CA a CC serán evidentes para los expertos en la técnica en base a la presente divulgación.

El convertidor de alta tensión 120 de la **figura 6** puede modificarse para convertirse en un convertidor de alta tensión 121 de tipo de CC a AC a CC, como se describe a continuación y, a modo de ejemplo, utilizado para suministrar potencia HVCC a través de una línea de transmisión HVCC 150 a un inversor 152 CC a CA, tal como se muestra en la **figura 7**. Cuando está conectado de esta manera a la línea de transmisión HVCC 150, puede ser deseable modular la potencia proporcionada por el convertidor de alta tensión 121 en la red. Por lo tanto, el circuito de alimentación de la **figura 7** se puede usar.

En la **figura 7**, el nodo de salida 142 del convertidor de alta tensión 121 de tipo CC a CA a CC proporciona CC a la línea de transmisión HVCC 150, para la transmisión a un inversor de CC a CA 152, por ejemplo. Un transductor 154 envía al circuito de monitorización 156 señales relacionadas con una o ambas corrientes y tensiones en la línea de transmisión HVCC 150. A su vez, el circuito de monitorización 156 envía señales relacionadas con una o ambas corrientes y tensiones en la red a una memoria intermedia en el ordenador central 158. Un circuito de interfaz de

salida 160 proporciona señales de control a través de las líneas 121a y 121b al convertidor de alta tensión 121, para hacer que la potencia suministrada a la línea de transmisión HVCC 150 se estabilice.

5 Como se ha mencionado anteriormente, el convertidor de CC de alta tensión a CC 120 de la figura 6 se modifica para convertirse en el convertidor de alta tensión 121 de la **figura 7** para su conexión a una línea de transmisión HVCC 150. En particular, el convertidor de alta tensión 121 de tipo CC a CA a CC podría tener un circuito de entrada de CA como se muestra en la **figura 4** para el circuito de fase de entrada de CA 86 del inversor de alta tensión 70 de la **figura 3A**. La descripción anterior del circuito de modulación 94 de la **figura 4** en relación a la **figura 5** se aplicaría con respecto a la regulación de la corriente proporcionada al transformador 19. Este proceso de control de salida es directamente análogo al descrito en relación con las **figuras 4 y 5**. Sin embargo, para el convertidor 121 de alta tensión de la **figura 7**, se aplicarán las siguientes calificaciones adicionales: La tensión en la línea de transmisión HVCC 150 se monitoriza para controlar la tensión en la línea de transmisión; esto contrasta con la monitorización de la corriente de CA y el control de la corriente de CA cuando está interconectada a una red de distribución eléctrica de CA (por ejemplo, **figura 3B**).

10 Lo anterior describe un inversor de alta tensión que incluya la función de convertir potencia de CC en potencia de CA que pueda tener un número bajo de piezas, que presente alta fiabilidad y que no sea peligroso para el medio ambiente.

15 Aunque la invención se ha descrito con respecto a realizaciones específicas a modo de ilustración, se les ocurrirán muchas modificaciones y cambios a los expertos en la técnica.

REIVINDICACIONES

1. Un inversor de alta tensión para convertir potencia de entrada de CC en tres o más fases de salida de CA (71a) con control de corriente individual de cada fase de salida de CA (71a), que comprende:
- 5 a) cada fase de salida de CA (71a) que tiene un circuito de fase de entrada CA (86, 88, 90) asociado, comprendiendo cada circuito de fase de entrada CA (86, 88, 90):
- i) un primer y segundo tubos de electrones (30, 32) de emisión controlable de campo de cátodo frío de estructura de triodo, tetrodo o pentodo;
- ii) un devanado (48) de transformador primario que tiene un primer extremo, un segundo extremo y una toma central (48a);
- 10 iii) la toma central (48a) es conectable a un potencial de CC superior a 20 KV;
- iv) el primer tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío (30) está conectado en serie entre el primer extremo del devanado (48) del transformador primario y la conexión a tierra (28) a través de un tercer tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío (102), estando conectado el segundo tubo de electrones controlable de campo de cátodo frío (32) en serie entre el segundo extremo del devanado (48) del transformador primario y la conexión a tierra (28) a través de un cuarto tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío (sin numerar); y
- 15 v) un estado de conducción de cada tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío controlado para convertir de potencia de CC a un potencial superior a 20 KV a una potencia de CA a través de dicho devanado (48) del transformador primario; conduciendo el primer y el segundo tubos de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío (30, 32) alternativamente para llevar alternativamente el primer extremo del devanado (48) del transformador primario aproximadamente al potencial de la conexión a tierra (28) y luego llevar el segundo extremo del devanado (48) del transformador primario aproximadamente al potencial de la conexión a tierra (28);
- 20 b) para cada devanado (48) del transformador primario de fase de entrada de CA, un respectivo devanado (132) de transformador secundario de una fase de salida de CA (71a) asociada acoplada al mismo; formando cada devanado (48) del transformador primario y el devanado (132) del transformador secundario asociado parte de un transformador (71) de fases múltiples;
- 25 c) medios para ajustar la corriente en cada circuito de fase de entrada de CA (86, 88, 90), que comprende:
- i) medios (74, 76 y 78) para determinar la carga en una fase de salida de CA (71a) asociada, y
- 30 ii) un primer y segundo circuitos de modulación (94, 96), que responden a dichos medios para determinar, para controlar el nivel de corriente de cada fase de salida (71a);
- iii) el primer circuito de modulación (94) que incluye dicho tercer tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío (102); un primer tubo de control (112) que tiene un cátodo conectado a una red del tercer tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío (102) y que tiene una red conectada al punto medio de un divisor de tensión resistivo (108 y 110), en el que el divisor de tensión resistiva (108 y 110) tiene una primera resistencia (110) que recibe una tensión en un extremo de una resistencia (106) cuyo otro extremo está conectado al ánodo del tercer tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío (102) y una segunda resistencia (108) que recibe una primera tensión de referencia en un extremo distal desde dicho punto medio;
- 35 iv) el segundo circuito de modulación (96) que incluye dicho cuarto tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío (sin numerar); un segundo tubo de control (sin numerar) que tiene un cátodo conectado a una red del cuarto tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío (sin numerar) y que tiene una red conectada al punto medio de un segundo divisor de tensión resistivo (sin numerar), en el que el segundo divisor de tensión resistivo (sin numerar) tiene una primera resistencia (sin numerar) que recibe una tensión en un extremo de una resistencia (sin numerar) cuyo otro extremo está conectado al ánodo del cuarto tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío (sin numerar) y una segunda resistencia (sin numerar) que recibe una primera tensión de referencia en un extremo distal desde dicho punto medio; y
- 40 d) cada uno del primer (30), segundo (32), tercer (102) y cuarto (sin numerar) tubos de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío que tienen una tensión nominal superior a 20 KV.
- 45
2. El inversor de alta tensión de la reivindicación 1, en el que;
- a) el inversor de alta tensión incluye medios para conectar la fase de salida de CA (71a) a una red de distribución de energía eléctrica (72) que tiene una pluralidad de generadores de energía (72a) y una pluralidad de subestaciones (72b) para distribuir energía a usuarios (72c); y
- 50 b) los medios para ajustar la corriente regulan el equilibrio de energía entre la pluralidad de fases individuales de

salida (71a).

3. El inversor de alta tensión de la reivindicación 1, en el que el primer (30), segundo (32), tercer (102) y cuarto (sin numerar) tubos de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío comprenden cada uno:

a) un cátodo frío cilíndrico alargado;

5 b) un ánodo cilíndrico alargado; y

c) una red cilíndrica que actúa como una puerta interpuesta entre dicho cátodo y dicho ánodo;

d) siendo dicho ánodo cilíndrico alargado axialmente simétrico y rodeando dicho cátodo frío cilíndrico alargado y dicha red cilíndrica.

4. El inversor de la reivindicación 1, en el que:

10 a) el primer (30), segundo (32), tercer (102) y cuarto (sin numerar) tubos de electrones de emisión de campo de cátodo frío tienen, cada uno, un primer y un segundo electrodos portadores de corriente principales;

b) el inversor está libre de cualquier otro tubo de electrones de cátodo de cátodo frío conectado en paralelo con dicho primer (30), segundo (32), tercer (102) o cuarto (sin numerar) tubos de electrones de cátodo frío.

15 5. El inversor de alta tensión de la reivindicación 1, en el que cada devanado (132) del respectivo transformador secundario está configurado para producir una tensión en cada devanado (132) del transformador secundario respectivo de al menos 10 KV.

6. El inversor de alta tensión según la reivindicación 2, en el que los medios para ajustar la corriente regulan el equilibrio de energía entre la pluralidad de fases de salida de CA individuales (71a) hasta un grado de al menos un 1 por ciento de una potencia promedio entre la pluralidad de fases de salida de CA (71a).

20 7. El inversor de alta tensión según la reivindicación 1 o 2 o 3 o 4 o 5, en el que el primer y segundo circuitos de modulación (94, 96) controlan el nivel de corriente de cada fase de salida de CA (71a) de una manera variable continuamente.

8. Un convertidor de alta tensión (120) de tipo de CC a CA a CC con control de corriente de salida, que comprende:

a) un circuito de fase de entrada de CA (86, 88, 90) que comprende:

25 i) un primer y segundo tubos de electrones (30, 32) de emisión controlable de campo de cátodo frío de estructura de triodo, tetrodo o pentodo;

ii) un devanado (48) de transformador primario que tiene un primer extremo, un segundo extremo y una toma central (48a);

iii) la toma central (48a) es conectable a un potencial de CC superior a 20 KV;

30 iv) el primer tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío (30) está conectado en serie entre el primer extremo del devanado (48) del transformador primario y la conexión a tierra (28) a través de un tercer tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío (102), estando conectado el segundo tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío (32) en serie entre el segundo extremo del devanado (48) del transformador primario y la conexión a tierra (28) a través de un cuarto tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío (sin numerar); y

35 v) un estado de conducción de cada tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío controlado para convertir de potencia de CC a un potencial superior a 20 KV a una potencia de CA a través de dicho devanado (48) del transformador primario; conduciendo el primer y el segundo tubos de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío (30, 32) alternativamente para llevar alternativamente el primer extremo del devanado (48) del transformador primario aproximadamente al potencial de la conexión a tierra (28) y luego llevar el segundo extremo del devanado (48) del transformador primario aproximadamente al potencial de la conexión a tierra (28);

40 b) una fase de salida de CA (71a) que incluye un devanado (132) de transformador secundario acoplado al devanado (48) del transformador primario;

45 c) un rectificador de CA a CC (134) para convertir la tensión de salida desde el devanado (132) del transformador secundario a una salida de alta tensión de CC;

d) medios para regular la corriente de salida del convertidor de alta tensión (120) que se suministra a una línea de transmisión HVCC (150), comprendiendo los medios de regulación:

i) medios para determinar la tensión y la corriente en la salida de alta tensión de CC; y

- ii) un primer y un segundo circuitos de modulación (94, 96) que responden a dichos medios para determinar, para controlar el nivel de corriente de la salida del convertidor de alta tensión (120);
- 5 iii) el primer circuito de modulación (94) que incluye dicho tercer tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío (102); un primer tubo de control (112) que tiene un cátodo conectado a una red del tercer tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío (102) y que tiene una red conectada al punto medio de un divisor de tensión resistivo (108 y 110), en el que el divisor de tensión resistiva (108 y 110) tiene una primera resistencia (110) que recibe una tensión en un extremo de una resistencia (106) cuyo otro extremo está conectado al ánodo del tercer tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío (102) y una segunda resistencia (108) que recibe una primera tensión de referencia en un extremo distal desde dicho punto medio;
- 10 iv) el segundo circuito de modulación (96) que incluye dicho cuarto tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío (sin numerar); un segundo tubo de control (sin numerar) que tiene un cátodo conectado a una red del cuarto tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío (sin numerar) y que tiene una red conectada al punto medio de un segundo divisor de tensión resistivo (sin numerar), en el que el segundo divisor de tensión resistivo (sin numerar) tiene una primera resistencia (sin numerar) que recibe una tensión en un extremo de una resistencia (sin numerar) cuyo otro extremo está conectado al ánodo del cuarto tubo de electrones de emisión controlable de campo de cátodo frío (sin numerar) y una segunda resistencia (sin numerar) que recibe una primera tensión de referencia en un extremo distal desde dicho punto medio; y
- 15 e) cada uno del primer (30), segundo (32), tercer (102) y cuarto (sin numerar) tubos de electrones controlables por emisión de campo de cátodo frío que tienen una tensión nominal superior a 20 KV.
- 20 9. El convertidor de alta tensión de la reivindicación 8, en el que:
- a) el primer (30), segundo (32), tercer (102) y cuarto (sin numerar) tubos de electrones de emisión de campo de cátodo frío tienen, cada uno, un primer y un segundo electrodos portadores de corriente principales;
- b) el inversor está libre de cualquier otro tubo de electrones de cátodo de cátodo frío conectado en paralelo con dicho primer (30), segundo (32), tercer (102) o cuarto (sin numerar) tubos de electrones de cátodo frío.
- 25 10. El convertidor de alta tensión de la reivindicación 8, en el que los medios para regular la corriente de salida del convertidor de alta tensión (120) regulan la potencia de salida del convertidor de alta tensión en un grado de al menos un 1 por ciento de un nivel de potencia promedio.
- 30 11. El convertidor de alta tensión de la reivindicación 8 ó 9, en el que el primer y segundo circuitos de modulación (94, 96) controlan el nivel de corriente de la salida del convertidor de alta tensión de una manera variable continuamente.

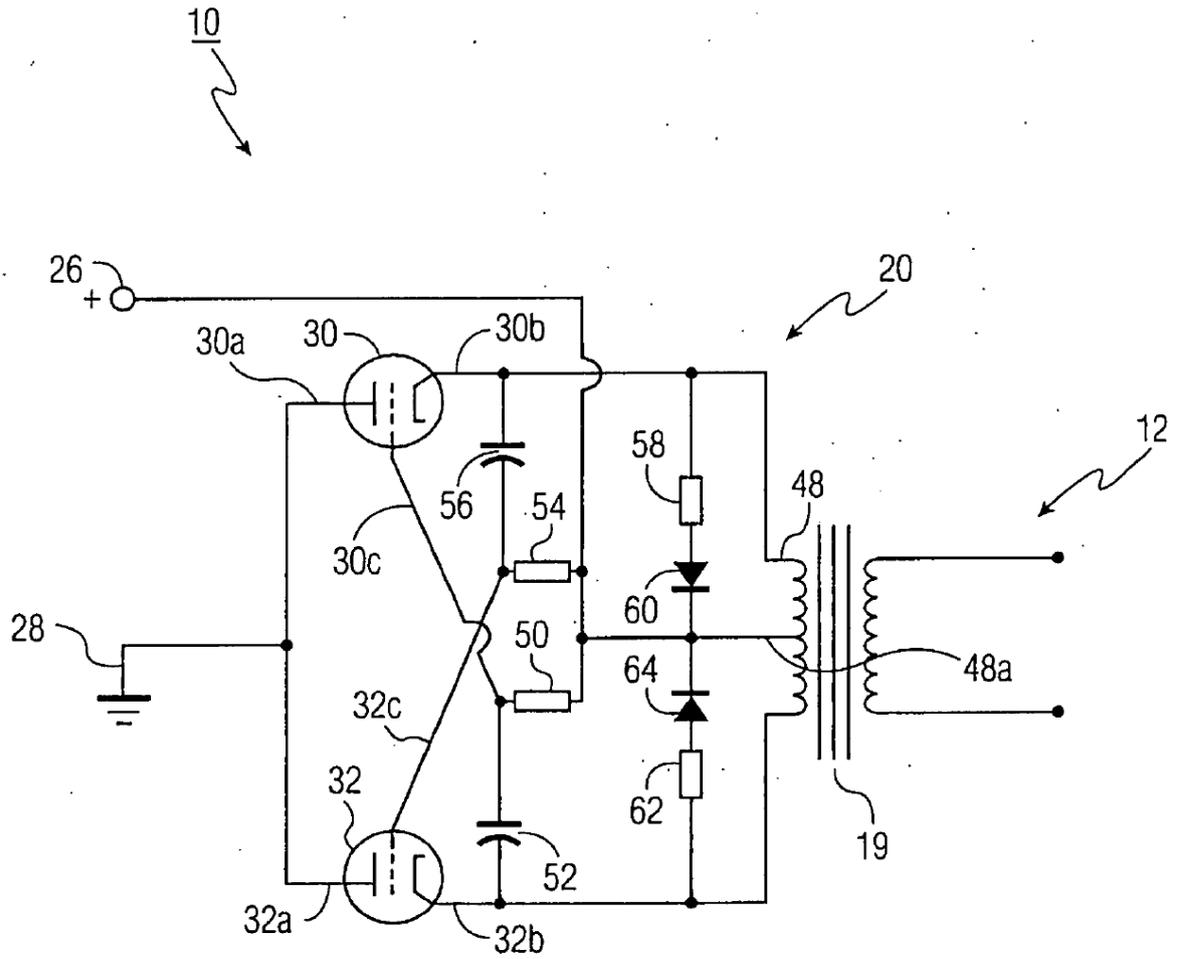


FIG. 1

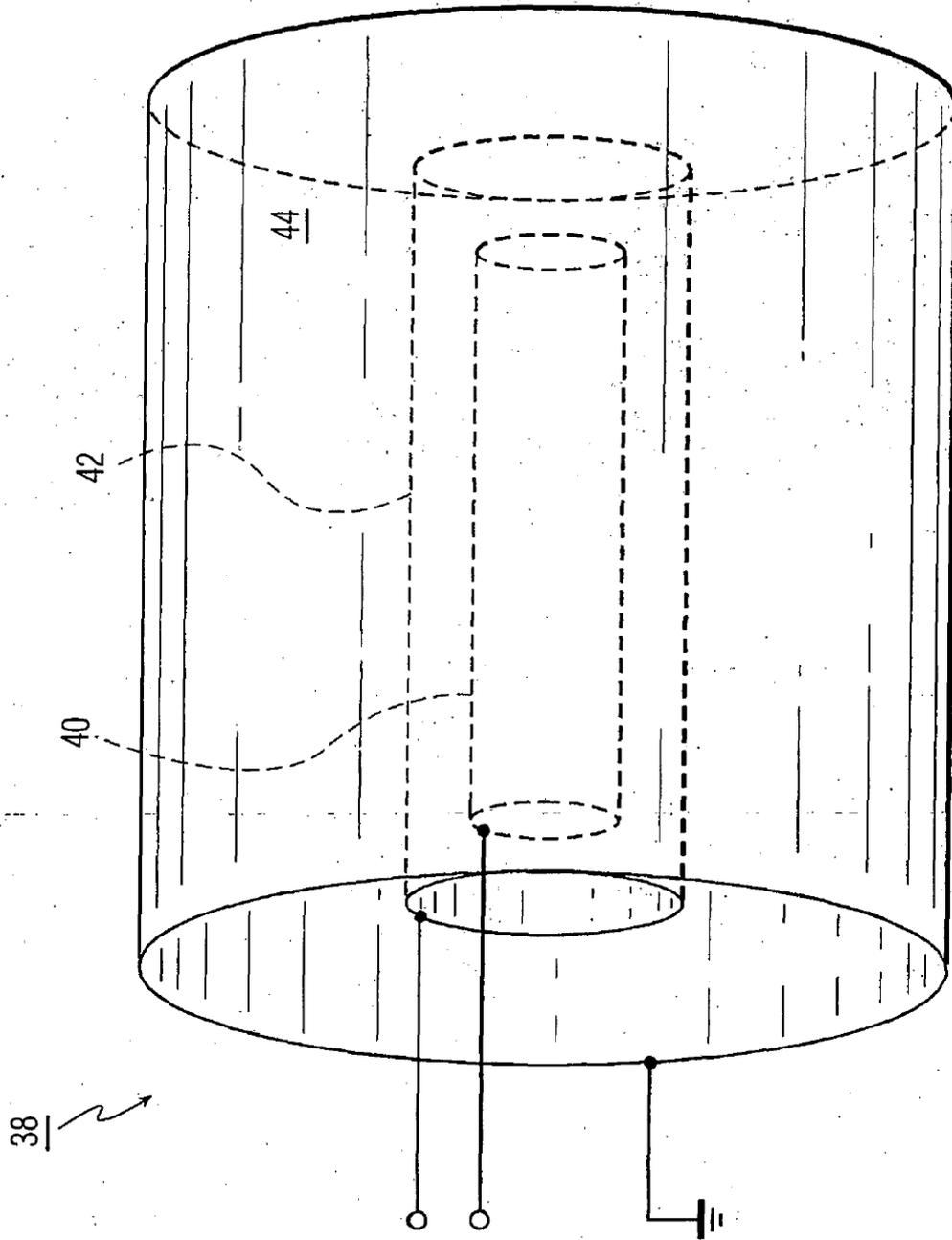


FIG. 2

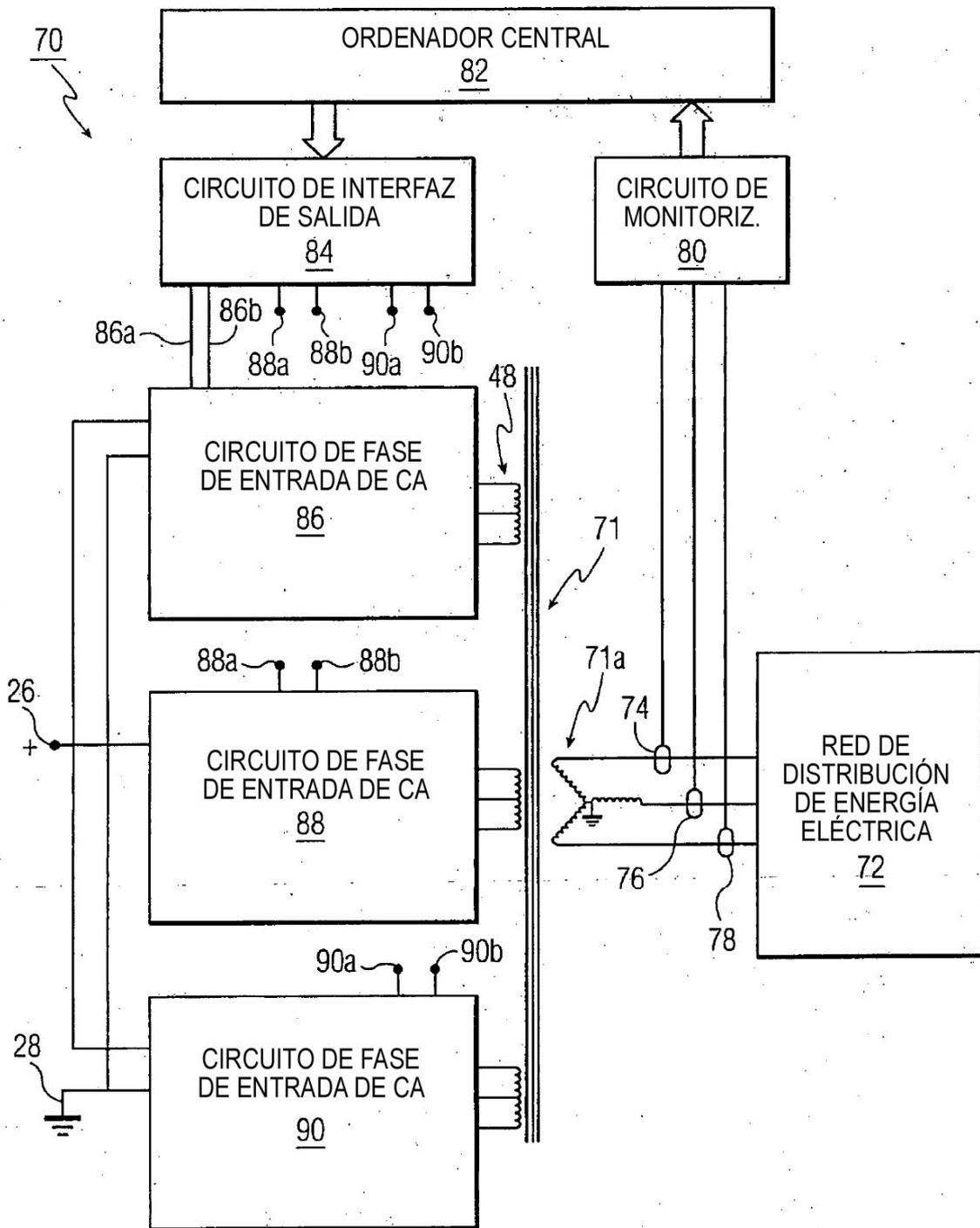


FIG. 3A

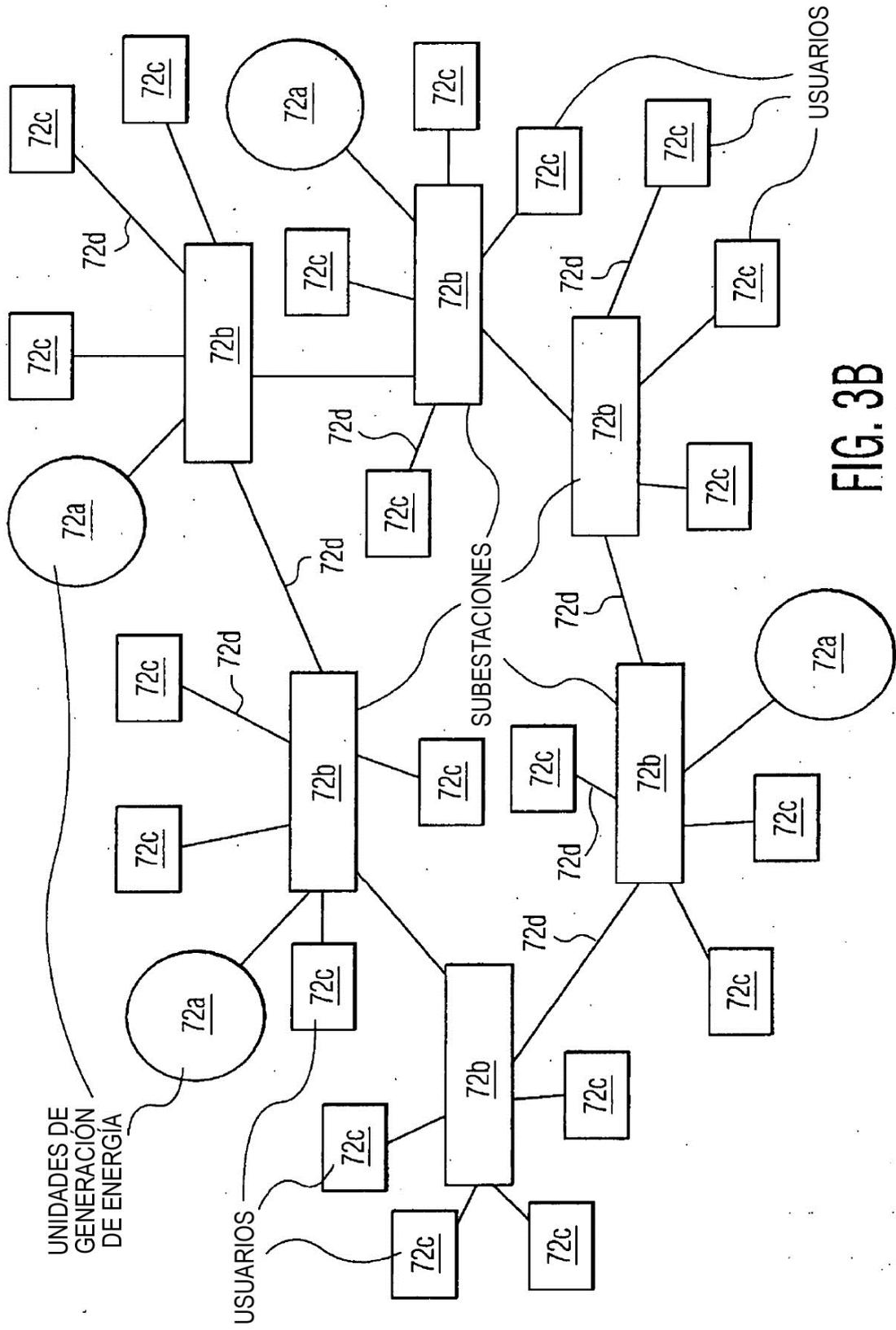


FIG. 3B

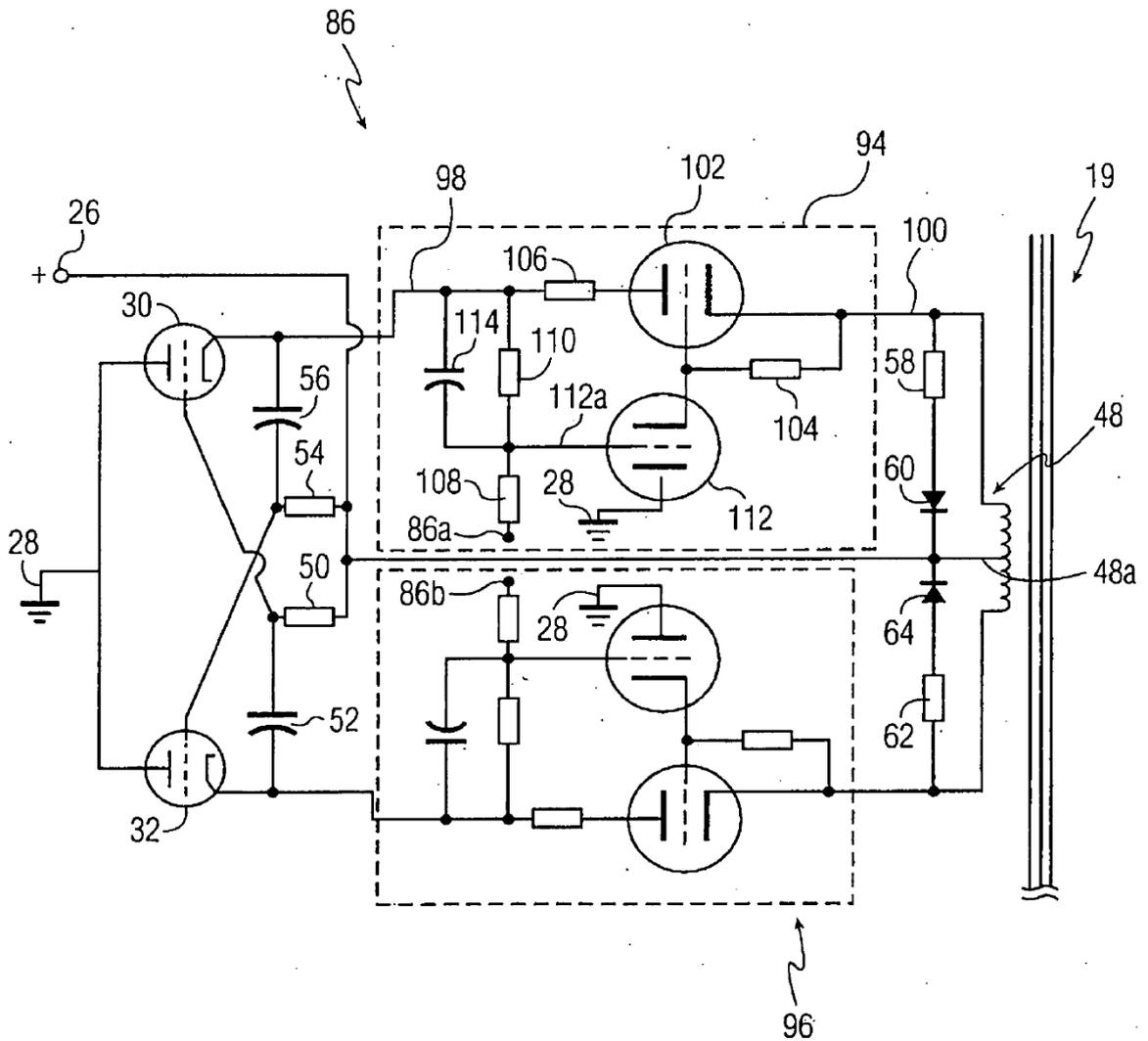


FIG. 4

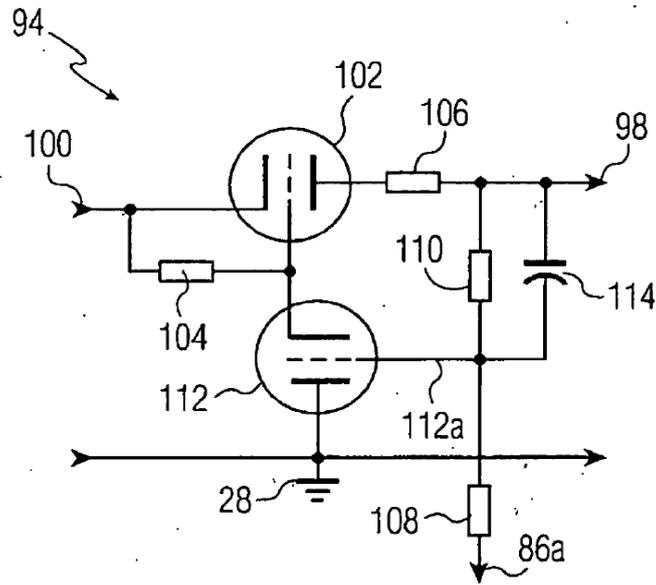


FIG. 5

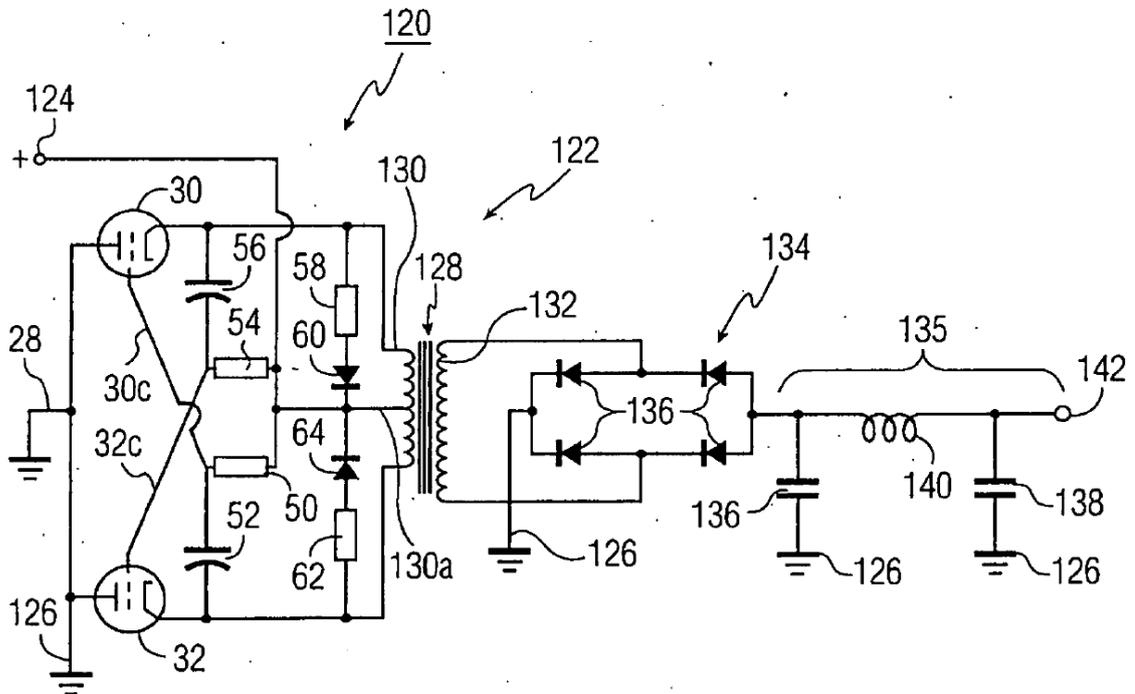


FIG. 6

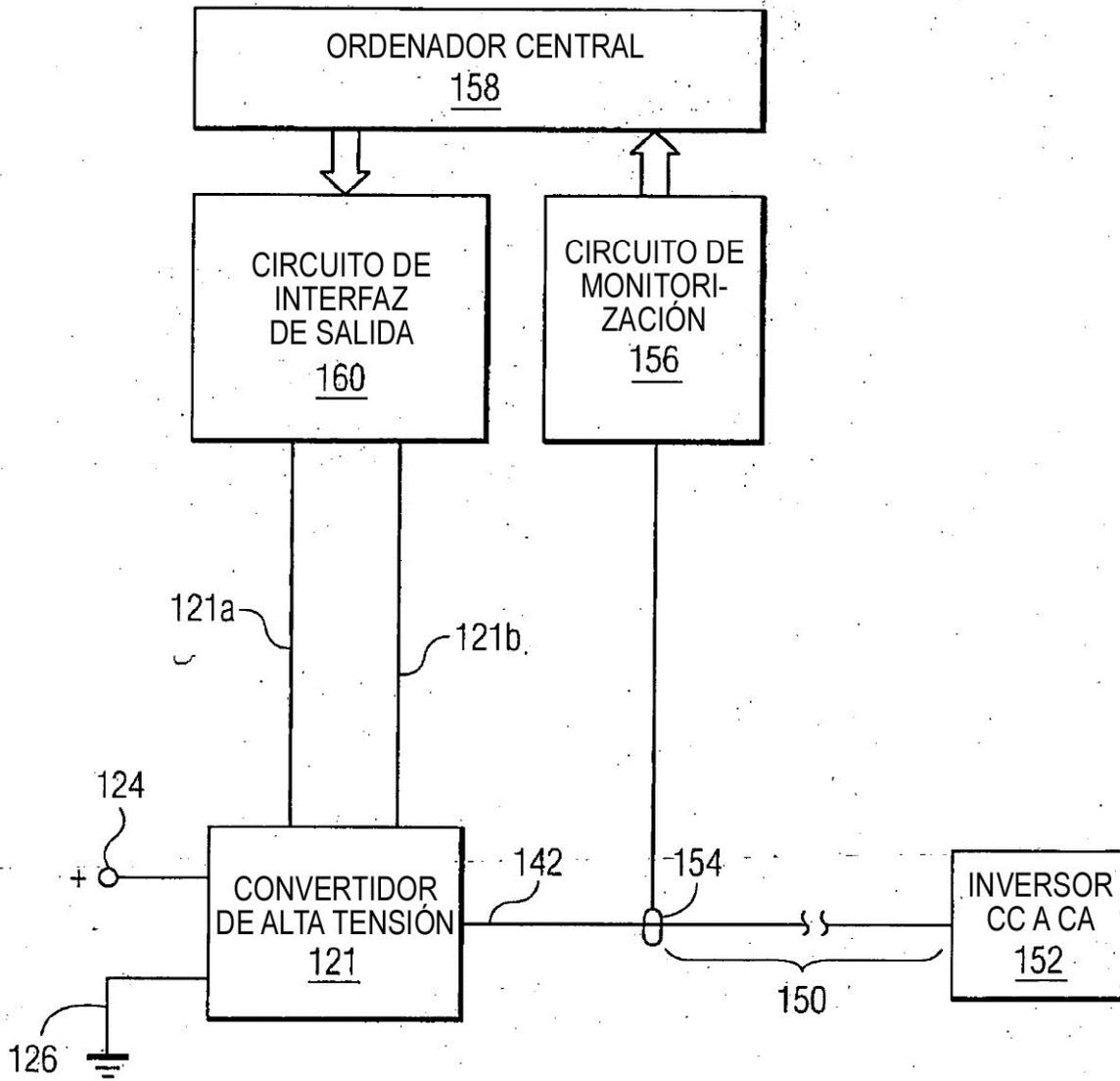


FIG. 7