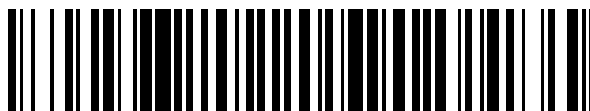


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 601 251**

51 Int. Cl.:

H02M 7/487 (2007.01)

H02M 7/493 (2007.01)

H02J 3/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.08.2011** **PCT/IT2011/000297**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.12.2016** **WO2013024496**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.08.2011** **E 11770534 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.08.2016** **EP 2742588**

54 Título: **Control de corrientes de fuga en sistemas con una pluralidad de inversores paralelos**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
14.02.2017

73 Titular/es:

ABB SCHWEIZ AG (100.0%)
Brown Boveri Strasse 6
5400 Baden, CH

72 Inventor/es:

VALIANI MASSIMO;
MARTINI DAVID y
MARCIANESI ANDREA

74 Agente/Representante:

TOMAS GIL, Tesifonte Enrique

ES 2 601 251 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

Control de corrientes de fuga en sistemas con una pluralidad de inversores paralelos

5 Campo técnico

[0001] La presente invención se refiere, en general, a la conversión de energía eléctrica y, en particular, a inversores para la conversión de una corriente eléctrica de voltaje CC en una corriente eléctrica de voltaje CA.
La invención se refiere especialmente a sistemas que comprenden una pluralidad de inversores basados en MID (modulación de impulsos en duración) conectados en paralelo a una carga y/o a una red de distribución eléctrica.

Estado de la técnica

[0002] Los dispositivos de conversión de energía eléctrica MID (modulación de impulsos en duración) son dispositivos eléctricos adaptados para transferir energía eléctrica de una fuente de entrada, generalmente una fuente de CC, a una salida, generalmente con CA.

Se usan inversores de este tipo por ejemplo para convertir energía eléctrica de voltaje CC, suministrada por una fuente de energía renovable en energía eléctrica CA para ser alimentada en una red de distribución, por ejemplo una red de 50 Hz o 60 Hz.

En otras aplicaciones, el inversor puede utilizarse para suministrar una carga, por ejemplo, un motor eléctrico, a un voltaje CA.

[0003] En general, los inversores usados para convertir energía que viene de una fuente renovable, tal como un panel fotovoltaico o similar, pueden suministrar energía eléctrica de voltaje CA para ser alimentada alternativamente en una red de distribución o para suministrar una carga local, según necesidad y como función de la cantidad de energía eléctrica disponible de la fuente CC.

[0004] La fuente de energía eléctrica puede ser por ejemplo un panel fotovoltaico o un campo de paneles fotovoltaicos, un generador de turbina eólica o un grupo de generadores de turbina eólica, o incluso una fuente con células de combustible o similar.

[0005] En muchas aplicaciones es preciso conectar a tierra la fuente de energía de voltaje CC.

Por ejemplo, en el caso de paneles fotovoltaicos, el polo positivo o negativo del panel o de las series de paneles fotovoltaicos, normalmente se conecta para prevenir la degradación del panel, provocada por la acumulación de cargas en la capacidad parásita para conectar a tierra.

En otras situaciones, por ejemplo, en el caso del suministro de energía a motores eléctricos, la carcasa del motor se conecta para prevenir fenómenos de erosión provocados por corrientes de fuga.

[0006] La conexión a tierra de una máquina única o de un inversor único es normalmente una operación simple, pero se pueden producir algunos problemas en el caso de que una pluralidad de dispositivos comparta la misma salida de voltaje CA.

En este caso, cada inversor tiene una conexión a tierra y las salidas se conectan en paralelo una con otra.

[0007] Si, por ejemplo, los inversores se conectan a una red de distribución, el neutro de la cual tiene un potencial diferente al potencial del punto de conexión de tierra de los inversores, se generan grandes corrientes de fuga, que fluyen a través de los interruptores electrónicos de los inversores con el riesgo de su destrucción.

[0008] Normalmente, los inversores se conectan en paralelo en un transformador de LV/MV (bajo voltaje/medio voltaje).

Para evitar la recirculación de altas corrientes conectadas en diferentes inversores, es necesario usar transformadores de salida de embobinados múltiples en el lado de bajo voltaje, para obtener un aislamiento galvánico entre los inversores y, por lo tanto, evitar la recirculación de corrientes de alta intensidad a través de la conexión a tierra.

Una configuración de este tipo es muy onerosa.

[0009] El problema de corrientes de fuga, en el caso de un sistema con diferentes fuentes de energía eléctrica conectadas a una pluralidad de inversores, conectados en paralelo uno a otro a una red de distribución eléctrica, se ilustrará mejor con referencia a las figuras 1 y 2.

Sin embargo, debe entenderse que se pueden producir problemas similares no solo en el caso de la conexión a la red de distribución, sino también, por ejemplo, cuando dos o más inversores paralelos suministran una carga común.

[0010] Las figuras 1 y 2 se refieren en particular a un sistema, donde dos inversores fotovoltaicos se conectan cada uno a un panel fotovoltaico respectivo o a un campo de paneles fotovoltaicos, mientras las salidas de los dos inversores se conectan en paralelo a una red de distribución eléctrica trifásica.

PV1 y PV2 indican los dos campos de paneles fotovoltaicos conectados respectivamente a un primer inversor 1 y a un segundo inversor 2.

En el ejemplo ilustrado, cada inversor 1, 2 es un inversor de dos etapas y comprende una fase CC/CC y una fase CC/CA.

Las salidas trifásicas de los dos inversores 1, 2 se conectan en paralelo a una red trifásica GR, el neutro de la cual se indica con N.

[0011] Cada inversor tiene en su lado de entrada una pluralidad de condensadores de volumen en series.

En el caso ilustrado, se proporcionan cuatro condensadores de volumen, indicados con C1/1, C2/1, C3/1 y C4/1 para el inversor 1 y con C1/2, C2/2, C3/2 y C4/2 para el inversor 2.

La fuente de energía eléctrica de voltaje CC se conecta a través de la disposición de series de los dos condensadores centrales.

Más precisamente, el polo positivo de la fuente PV1 se conecta entre el condensador C1/1 y el condensador C2/1, mientras el polo negativo de la fuente PV1 se conecta entre el condensador C3/1 y el condensador C4/1.

Además, el polo positivo de la fuente PV2 se conecta entre el condensador C1/2 y el condensador C2/2, mientras el polo negativo de la fuente PV2 se conecta entre el condensador C3/2 y el condensador C4/2.

T1 y T2 indican los puntos centrales de las series de condensadores de volumen de los dos inversores 1 y 2.

Por lo tanto, cada inversor es un inversor con cuatro niveles de voltaje.

Cada fase CC/CC carga los condensadores C1/1 y C4/1 del inversor 1 y los condensadores C1/2 y C4/2 del inversor 2.

Para el inversor 1, el condensador C1/1 y el condensador C4/1 se cargan usando la energía extraída del condensador C2/1 y C3/1, respectivamente.

Asimismo, para el inversor 2 el condensador C1/2 y el condensador C4/2 se cargan usando la energía extraída del condensador C2/2 y C3/2, respectivamente.

[0012] Se debe observar que, en general, PV1 y PV2 pueden ser secciones diferentes de un mismo campo de paneles fotovoltaicos o campos diferentes de paneles fotovoltaicos también separados espacialmente.

La dimensión de los dos campos de paneles fotovoltaicos y/o las condiciones de irradiación solar u otros parámetros pueden ser diferentes para las fuentes PV1 y PV2, de modo que los voltajes V_1 y V_2 en la salida de las dos fuentes de energía eléctrica en general diferirán uno del otro.

[0013] Para las cuestiones mencionadas, cada inversor se conecta a tierra.

En el ejemplo ilustrado, la conexión a tierra se hace en el punto E1 para la fuente PV1 y el inversor relacionado 1, y en el punto E2 para la fuente PV2 y el inversor relacionado 2.

En el ejemplo ilustrado, los puntos de conexión a tierra son en el polo negativo, pero este es solo un ejemplo, se entiende que la conexión a tierra también se podría hacer en el polo positivo.

Las consideraciones abajo expuestas también son válidas en este segundo caso.

[0014] Como los dos voltajes V_1 y V_2 generalmente no son idénticos, el voltaje $V_{C3/1}$ y $V_{C3/2}$ a través del condensador C3/1 para el inversor 1 y a través del condensador C3/2 para el inversor 2 normalmente también serán diferentes y equivalentes a $\frac{1}{2}(V_1)$ y $\frac{1}{2}(V_2)$ respectivamente.

Debido a la conexión a tierra, si los dos voltajes mencionados son diferentes, en ausencia de medidas apropiadas habrá una corriente de fuga a tierra, como se puede entender del circuito equivalente representado en la Fig.2. I_{leak} indica la corriente de fuga.

Como resultado de la conexión en paralelo de la salida CA de los dos inversores, luego el voltaje entre el neutro N de las redes trifásicas GR y el punto central T1 (punto de tierra aislado) de las series de condensadores de volumen del inversor 1 es igual al voltaje entre el neutro N y el punto central T2 (tierra) de las series de condensadores de volumen del inversor 2.

En otras palabras, la relación siguiente es válida:

$$\overline{V_{NT_1}} = \overline{V_{NT_2}} \quad (1)$$

[0015] Esta condición, que se representa aquí para un sistema con dos inversores, es válida para todos los inversores conectados al mismo transformador de red, por ejemplo, un mismo transformador LV/MV.

[0016] La corriente que puede fluir a través de la conexión a tierra es prácticamente ilimitada, es decir, limitada solo por la resistencia parásita y puede causar daños en los inversores, al igual que constituir un riesgo serio para la operación correcta del sistema.

[0017] Como se ha mencionado anteriormente, para evitar la incidencia de una corriente de fuga para conectar la I_{leak} , en el estado de la técnica, se usa normalmente un transformador LV/MV, provisto de una pluralidad de embobinados de baja tensión galvánicamente aislados uno del otro, cada uno de los cuales está conectado a uno de los inversores del sistema.

Esto implica costes muy altos.

[0018] El documento de la EP 1 555 536 A2 divulga un sistema de conversión de energía eléctrica que comprende al menos un primer inversor, al menos una primera fuente de voltaje CC, conectada a la entrada del primer inversor y una conexión a tierra del primer inversor, donde la conexión a tierra del primer inversor comprende una derivación de conexión a tierra con un sensor de corriente que provee una señal proporcional a una corriente de fuga a tierra medida en la derivación de conexión a tierra.

Breve descripción de la invención

[0019] La invención proporciona un sistema de conversión de energía eléctrica según la reivindicación 1 y un método para controlar la corriente de fuga a tierra en un sistema, según la reivindicación 15. Se definen formas de realización preferidas en las reivindicaciones dependientes.

[0020] Según un aspecto, la invención propone un sistema para evitar o al menos reducir parcialmente los inconvenientes mencionados de la técnica anterior. Según otro aspecto, la invención propone un método para reducir, al menos en parte, los inconvenientes de los métodos anteriores del estado de la técnica para controlar o suprimir la corriente de fuga a tierra en sistemas con una pluralidad de inversores conectados en paralelo.

[0021] En esencia, la invención se basa en el uso de un control activo de la corriente de fuga en inversores con conexión a tierra.

La invención proporciona, para cada inversor, para una derivación de conexión a tierra particular para ser conectada entre el punto de conexión a tierra del sistema y el punto de fuente de energía CC, por ejemplo, un panel fotovoltaico, para ser conectado a tierra.

[0022] Se coloca un detector de corriente en la derivación de conexión a tierra y la señal de realimentación generada por este detector se utiliza para controlar la corriente de fuga entre los inversores conectados al sistema. Como se aclarará en la descripción de abajo, con este método no es necesario que los inversores estén conectados uno a otro o que compartan datos.

[0023] Según algunas formas de realización, la invención proporciona un sistema de conversión de energía eléctrica que comprende: al menos un primer inversor y al menos un segundo inversor, cuyas salidas se conectan en paralelo; al menos una primera fuente de voltaje CC conectada a la entrada del primer inversor y una segunda fuente de voltaje CC conectada a la entrada del segundo inversor; una conexión a tierra del primer inversor y una conexión a tierra del segundo inversor.

La conexión a tierra de, al menos, uno de dicho primer inversor y segundo inversor comprende una derivación de conexión a tierra con un sensor de corriente que provee una señal proporcional a una corriente de fuga a tierra medida en dicha derivación de conexión a tierra.

De la señal suministrada por el sensor de corriente, se genera una señal de realimentación para controlar la corriente de fuga.

La señal de realimentación se obtiene, por ejemplo, con un comparador (en el que la corriente de fuga detectada y la corriente de fuga deseada se comparan generando un error) y un bloque de reglaje.

La señal de realimentación se puede aplicar a un bucle de control del voltaje a través del condensador de volumen del inversor respectivo.

[0024] En formas de realización ventajosas, al menos uno de dichos inversores comprende un bucle de control que, basándose en la señal proporcional a la corriente de fuga medida y en una referencia de corriente de fuga deseada, imparte una variación de voltaje a través del condensador de volumen de al menos dicho inversor.

La variación del voltaje impartida es tal para reducir la diferencia entre la corriente de fuga medida y la referencia de corriente de fuga deseada, por ejemplo, situada igual a cero.

[0025] Según una forma de realización posible, por lo tanto, la invención proporciona un sistema de conversión de energía eléctrica que comprende: al menos un primer inversor y al menos un segundo inversor, cuyas salidas se conectan en paralelo; al menos una primera fuente de voltaje CC conectada a la entrada del primer inversor y una segunda fuente de voltaje CC conectada a la entrada del segundo inversor; una conexión a tierra del primer inversor y una conexión a tierra del segundo inversor.

La conexión a tierra de al menos uno de dicho primer inversor y segundo inversor comprende una derivación de conexión a tierra con un sensor de corriente que provee una señal proporcional a una corriente de fuga a tierra medida en dicha derivación de conexión a tierra.

Además, al menos, se proporciona un bucle de control, que basándose en dicha señal proporcional a la corriente de fuga medida y en una referencia de corriente de fuga deseada, imparte una variación de voltaje a través del condensador de volumen de, al menos, dicho inversor, dicha variación de voltaje está adaptada para reducir la diferencia entre la corriente de fuga medida y la referencia de corriente de fuga deseada.

[0026] En formas de realización particularmente ventajosas de la invención, cada uno de los inversores del sistema tiene una derivación de conexión a tierra que comprende un sensor de corriente respectivo para suministrar una señal proporcional a la corriente de conexión de fuga a tierra medida por dicho sensor de corriente.

Además, cada inversor comprende un bucle de control que, basándose en la señal proporcional a la corriente de

fuga medida y en la referencia de corriente de fuga deseada, imparte una variación de voltaje a través del condensador de volumen del inversor respectivo.

La variación de voltaje impartida es tal para reducir la diferencia entre la corriente de fuga medida y la referencia de corriente de fuga deseada.

[0027] En algunas formas de realización de la invención, el sistema puede comprender un número genérico N de inversores.

Todos los inversores menos uno pueden ser provistos de un detector de corriente de fuga y de un bucle de control de corriente de fuga.

[0028] En algunas formas de realización, cada inversor comprende al menos dos condensadores de volumen en series, entre los que se define un punto de tierra central aislado.

[0029] Según otro aspecto, la invención se refiere a un método para controlar la corriente de fuga a tierra en un sistema que comprende: al menos un primer inversor y al menos un segundo inversor, cuyas salidas se conectan en paralelo; al menos una primera fuente de voltaje CC conectada a la entrada del primer inversor y una segunda fuente de voltaje CC conectada a la entrada del segundo inversor; una conexión a tierra del primer inversor y una conexión a tierra del segundo inversor.

El método proporciona la detección de una corriente de fuga a tierra en la conexión a tierra de al menos uno de dichos inversores y para generar una señal de realimentación para controlar dicha corriente de fuga.

Cuando el sistema comprende una pluralidad de inversores, en general, la detección de la corriente de fuga se realiza en todos los inversores o al menos en todos los inversores menos uno.

Un bucle de control de la corriente de fuga en todos los inversores o en todos los inversores menos uno permite que la corriente se controle y tome a un valor deseado, típicamente cero.

[0030] Para este propósito, algunas formas de realización proporcionan la modificación del voltaje a través de, al menos, un condensador de volumen en la entrada de cada inversor provista de un bucle de control corriente.

El voltaje a través del condensador de volumen se controla para impartir a la corriente de fuga medida una variación sobre un valor de corriente de fuga deseado, por ejemplo igual a cero.

[0031] Otras características ventajosas y formas de realización del método y del sistema, según la invención, se indican en las reivindicaciones anexas, que forman una parte integral de la presente descripción y en la descripción abajo detallada.

[0032] El método del control de la corriente de fuga ofrece la ventaja de la conexión de una pluralidad de diferentes campos fotovoltaicos u otras fuentes, por ejemplo, caracterizadas por diferentes voltajes MPP (punto de máxima potencia), en el mismo potencial de tierra sin comprometer la posibilidad de que conecten los inversores respectivos a la misma red CA, evitar el uso de medidas complejas y costosas, tales como el uso de embobinados aislados galvánicamente en el transformador LV/MV.

[0033] La reducción de la corriente de fuga implica ventajas importantes en cuanto a la reducción de ruido y tensión eléctrica.

[0034] Utilizar una derivación de conexión a tierra, capaz de detectar la corriente de fuga y, opcionalmente, un fusible de protección, es posible para sustituir derivaciones de conexión a tierra con derivaciones de conexión a tierra, según la invención.

Breve descripción de los dibujos

[0035] Ahora la invención se entenderá mejor después de consultar la descripción y los dibujos anexas, que muestran una forma de realización no limitativa de la invención.

Más en particular, en los dibujos:

Figuras 1 y 2 muestran un sistema según el estado de la técnica;

Fig.3 muestra un sistema con dos inversores fotovoltaicos conectados en paralelo a una red de distribución eléctrica y con una conexión a tierra, según la invención;

Fig.4 muestra un diagrama de una conexión a tierra del sistema de la Fig.3

Fig.5 muestra un circuito eléctrico equivalente de la conexión a tierra del sistema de la Fig.4,

Fig.6 muestra un diagrama de bloques del bucle de control de corriente de fuga; y

Fig.7 muestra un modelo del bucle de control cerrado.

Descripción de formas de realización de la invención

[0036] Abajo se describirá una forma de realización de la invención aplicada a un sistema fotovoltaico con dos secciones o grupos de paneles fotovoltaicos asociados a dos inversores, que se conectan sucesivamente en la salida a una red de distribución eléctrica trifásica.

Sin embargo, como se indica en la parte introductoria de la descripción, la invención también puede aplicarse a

sistemas de otro tipo, cada una de las salidas de dos o más inversores se conectan en paralelo y los inversores tienen conexiones a tierra respectivas.

5 [0037] De forma similar a aquello que se ilustra con referencia a la Fig.1, en la Fig.3, PV1 y PV2 indican dos campos de paneles fotovoltaicos conectados respectivamente a un primer inversor 1 y a un segundo inversor 2. Cada campo de paneles fotovoltaicos.

[0038] En el ejemplo ilustrado, cada inversor 1, 2 es un inversor de dos etapas y comprende una fase CC/CC y una fase CC/CA.

10 Para el inversor 1, la fase CC/CC se indica con 1A y la fase CC/CA se indica con 1 B. Para el inversor 2, la fase CC/CC se indica con 2A y la fase CC/CA se indica con 2B.

Las salidas trifásicas de los dos inversores 1, 2 se conectan en paralelo a una red de distribución de energía eléctrica trifásica, indicada como un conjunto y esquemáticamente con GR.

N indica el neutro de la red GR.

15 En algunas formas de realización, los dos inversores se pueden conectar a la red en un transformador LV/MV, que para cada fase puede tener un arrollamiento primario único y un arrollamiento secundario único, ya que (a diferencia de sistemas conocidos en el estado de la técnica) no se requiere aislamiento galvánico entre las salidas de los varios inversores en paralelo, por los motivos descritos abajo.

20 [0039] En el lado de entrada, cada inversor tiene una pluralidad de condensadores de volumen dispuesta en series. En el ejemplo ilustrado en la Fig.3, se proporcionan cuatro condensadores de volumen, indicados con C1/1, C2/1, C3/1 y C4/1 para el inversor 1 y con C1/2, C2/2, C3/2 y C4/2 para el inversor 2.

25 La fuente CC constituida por el campo de paneles fotovoltaicos PV1 se conecta con el polo positivo entre el condensador C1/1 y el condensador C2/1 del inversor 1 y con el polo negativo entre el condensador C3/1 y el condensador C4/1 del inversor 1.

La fuente CC constituida por el campo de paneles fotovoltaicos PV2 se conecta con el polo positivo entre el condensador C1/2 y el condensador C2/2 del inversor 2 y con el polo negativo entre el condensador C3/2 y el condensador C4/2 del inversor 2.

30 T1 y T2 indican los puntos de tierra centrales aislados, colocados entre los dos condensadores intermedios C2/1, C3/1 y C2/2, C3/2 de las series de los condensadores de volumen de los dos inversores 1 y 2.

La relación definida por la ecuación (1) existe entre los voltajes en los puntos T1, T2 y N.

[0040] En el ejemplo ilustrado, los inversores 1 y 2 son inversores con cuatro niveles de voltaje.

35 La fase CC/CC de cada inversor carga los condensadores C1/1 y C4/1 del inversor 1 y los condensadores C1/2 y C4/2 del inversor 2.

Para el inversor 1, el condensador C1/1 y el condensador C4/1 se cargan usando la energía extraída del condensador C2/1 y C3/1, respectivamente.

Asimismo, para el inversor 2, el condensador C1/2 y el condensador C4/2 se cargan usando la energía extraída del condensador C2/2 y C3/2, respectivamente.

40 [0041] En el diagrama de la Fig.3, V_1 y V_2 indican el voltaje a través de la respectiva fuente CC y, por lo tanto, en la entrada de la fase CC/CC del inversor respectivo 1 y 2.

Las dos fuentes PV1 y PV2 pueden diferir una de otra en tamaño y/o posición (y, por lo tanto, diferirá el grado de irradiación solar).

45 Consecuentemente, el voltaje V_1 generalmente diferirá del voltaje V_2 .

[0042] En el ejemplo mostrado, se proporciona una conexión a tierra en el polo negativo para cada campo fotovoltaico PV1, PV2.

En otras formas de realización, la conexión a tierra puede ser en el polo positivo.

50 Las consideraciones de abajo se aplican de la misma manera.

En cualquier caso, es preciso para las conexiones a tierra de los campos fotovoltaicos PV1 y PV2 que sean constantes, en el sentido de que si hay conexiones a tierra, estas deben estar ambas en el polo positivo o estar ambas en el polo negativo para ambos campos.

55 La misma condición se debe aplicar en el caso de una pluralidad de campos fotovoltaicos conectada al mismo embobinado LV/MV de la red eléctrica a través de máquinas eléctricas, como se ilustra en la Fig.3.

[0043] E1 y E2 indican los puntos de conexión a una derivación de conexión a tierra respectiva de los dos paneles fotovoltaicos PV1 y PV2.

60 En la forma de realización mostrada, las dos derivaciones de conexión a tierra se configuran de la misma manera, pero no es esencial, como se aclarará en la descripción de abajo.

En el diagrama de la Fig.3, las derivaciones de conexión a tierra se indican con 1G y 2G para el inversor 1 y para el inversor 2, respectivamente.

Fig.4 muestra una ampliación de cada derivación de conexión a tierra 1G, 2G.

65 [0044] En la derivación 1G, entre el punto de conexión E1 a la salida de la fuente PV1 y la toma de tierra G1/1 hay dispuestos en serie: un sensor de corriente 5/1, un fusible de protección 6/1 y una resistencia 7/1.

En la derivación 2G entre el punto de conexión E1 a la salida de la fuente PV1 y la toma de tierra G1/2 hay dispuestos en serie: un sensor de corriente 5/2, un fusible de protección 6/2 y una resistencia 7/2.

[0045] Fig. 5 muestra el circuito equivalente.

5 Los mismos números indican partes que son las mismas o equivalentes a las del diagrama de la Fig.4.

$V_{C3/1}$ y $V_{C3/2}$ indican el voltaje a través de los condensadores C3/1 y C3/2 respectivamente.

Como se ha aclarado en el circuito equivalente de la Fig.5, se da la corriente de fuga I_{leak} entre los dos inversores 1 y 2 por:

$$I_{leak} = \frac{V_{C3/1} - V_{C3/2}}{2R} \quad (2)$$

donde R es el valor de cada resistencia 7/1 y 7/2 que, en esta forma de realización, son iguales una de la otra.

[0046] Si la fase CC/CC de cada inversor se diseña de tal manera para controlar el voltaje a través de los condensadores C2/1 y C2/2, resulta posible controlar el numerador de la fracción de la ecuación (2).

Basándose en esta suposición, la Fig.6 muestra el diagrama de un bucle de control de la corriente de fuga I_{leak} de un inversor único.

El diagrama es genérico y válido para los inversores 1 y 2.

La referencia "x" puede ser "1" o "2" respectivamente, según a cuál de los dos inversores 1, 2 se refiera.

Por lo tanto, en el diagrama de la Fig.6:

I_{leak}^*	indica el valor de la corriente de fuga que se va a impartir y que normalmente será igual a 0. Sin embargo, el método de control de la corriente de fuga es general y también se podría usar para impartir una corriente de fuga diferente a cero;
$I_{leak}/X(A)$	indica la corriente de fuga medida por el sensor de corriente 5/1 o 5/2 (como x=1 para la derivación de conexión a tierra 1G del inversor 1 y x=2 para la derivación de conexión a tierra del inversor 2);
R(s)	indica el bloque de reglaje caracterizado por una función de transferencia adecuada;
$\Delta V_{C3/x}$	indica la diferencia de voltaje que se va a añadir a través del condensador C3/1 (x=1, inversor 1) o C3/2 (x=2, inversor 2) para corregir el error entre la corriente de fuga medida $I_{leak}/x(A)$ y la corriente de fuga deseada I_{leak}^* (normalmente igual a cero);
V_x	indica el voltaje de salida del campo de paneles fotovoltaicos y, por lo tanto, es igual al V_1 (x=1) para el inversor 1 y V_2 (x=2) para el inversor 2;
$V_{C3/x}^*$	indica el voltaje correcto $V_{C3/1}$ a través del condensador C3/1 para el inversor 1 (x=1) y $V_{C3/2}$ a través del condensador C3/2 para el inversor 2 (x=2).

[0047] La acción del bucle de control es la siguiente.

La corriente de fuga medida $I_{leak}/X(A)$ se compara con el valor deseado I_{leak}^* (igual a cero en el ejemplo).

El error entre los dos valores se procesa por un bloque de reglaje R(s).

El resultado de la operación de tratamiento es un valor de voltaje que debe ser añadido al voltaje a través del condensador C3/1 o C3/2, que es igual a la mitad del voltaje V_x (x=1,2) de la fuente PV1 o PV2.

De esta manera, el voltaje de referencia $V_{C3/x}^*$ (x=1, 2) se obtiene, que debe ser impartido a través del condensador C3/x del inversor respectivo para eliminar la corriente de fuga.

Este voltaje se puede obtener mediante el control de voltaje de la fase CC/CC del inversor respectivo.

Preferiblemente, esta reacción negativa se aplica a cada inversor 1, 2 conectado en paralelo en la red GR.

Con referencia al circuito equivalente de la Fig.5, la corriente de fuga medida $I_{leak}/x(A)$ será detectada como positiva para el inversor 1 y como negativa para el inversor 2.

La acción de reglaje será de signo opuesto en los dos inversores.

Consecuentemente, el condensador sobrecargado será descargado y el condensador descargado será cargado.

[0048] Como se aclarará en adelante, el sistema de control configurado de esta manera es estable y convergente rápidamente hacia una condición de corriente de fuga I_{leak} igual al valor deseado I_{leak}^* .

[0049] La condición para obtener un sistema estable es que el ancho de banda del bucle de control de la fase CC/CC es mucho mayor de el ancho de banda del bucle cerrado del bucle de control de corriente de fuga.

Esta condición normalmente se consigue en los casos prácticos.

[0050] Partiendo de esta suposición, el algoritmo de control esquematizado en la Fig. 6 será usado en combinación con la ecuación (2) para definir un modelo equivalente representado en la Fig. 7, en el caso de un sistema con dos inversores como se representa esquemáticamente en la Fig. 3.

En la Fig. 7, los mismos símbolos indican las mismas cantidades y los mismos parámetros ya definidos con referencia a la Fig.6.

Así x=1 para el inversor 1 y x=2 para el inversor 2.

El voltaje $V_{C3/x}^*$ obtenido añadiendo el voltaje $\frac{1}{2} (V_x)$ a través del condensador C3/x al valor de corrección obtenido

por el bucle de control de corriente de fuga se suministra en la entrada del bucle de control de voltaje del inversor y, en concreto, de la fase CC/CC del inversor.

[0051] Como se puede observar en el diagrama de la Fig.5 y en la ecuación (2), los voltajes de los condensadores C3/x aparecen en el circuito equivalente.

Consecuentemente, en el bucle de control de la Fig.7 relacionado con un inversor, al igual que el voltaje $\frac{1}{2}V_x$ a través del condensador C3/x del inversor considerado, también está presente el voltaje, indicado con $V_{c3/otro}$, a través del condensador correspondiente C3 del otro inversor (o de la pluralidad de inversores conectados al mismo embobinado LV/MV de la red de salida).

En el caso del inversor 1, por ejemplo, en el diagrama de la figura 7 tendremos $x=1$ y el voltaje $V_{c3/1}$ se debe añadir al voltaje $V_{c3/otro} = V_{c3/2}$ a través del condensador C3/2 del inversor 2.

En el bucle de la Fig.7 las cantidades V_x y $V_{c3/otro}$ son factores de perturbación y su efecto se debe controlar.

[0052] En algunas formas de realización, el bloque R(s) puede ser un integrador simple.

Por lo tanto, tendremos:

$$\Delta V_{c3/x} = \frac{K_I}{s} * e_I \quad (3)$$

En este caso, tendremos las siguientes tres funciones de transferencia parcial:

$$\begin{aligned} W_1(s) &= \frac{I_{lsak}}{I_{lsak} * s} = \omega_{cc} \frac{1}{s + \omega_{cc}} \\ W_2(s) &= \frac{I_{lsak}}{V_x} = -\frac{1}{4R} * \frac{1}{s + \omega_{cc}} \\ W_3(s) &= \frac{I_{lsak}}{V_{c3/otro}} = -\frac{1}{2R} \frac{s}{s + \omega_{cc}} \end{aligned} \quad (4)$$

donde $\omega_{cc} = \frac{K_I}{2R}$ y K_I es la ganancia del regulador integral en cuestión.

[0053] El polo dominante único del bucle cerrado está presente en cada función de transferencia parcial, de modo que el sistema es estable y el ancho de banda se puede seleccionar a voluntad.

[0054] Considerar una variación en tres pasos (para la corriente de fuga de referencia I_{lsak}^* , para la señal V_x y para la señal $V_{c3/otro}$), la respuesta de temporal se da por la ecuación siguiente:

$$R(t) = \left(I_{lsak}^* + \frac{V_x}{4R\omega_{cc}} \right) * u_{-1}(t) - \left(\frac{I_{lsak}^*}{\omega_{cc}} + \frac{V_x}{4R\omega_{cc}} + \frac{V_{c3/otro}}{2R} \right) * e^{-\omega_{cc}t} \quad (5)$$

donde t es el tiempo y $u_{-1}(t)$ es una función escalonada igual al "0" para $t < 0$ y "1" para $t > 0$. Por lo tanto, la respuesta estable (con $t \rightarrow +\infty$) es:

$$\bar{R} = \left(I_{lsak}^* + \frac{V_x}{4R\omega_{cc}} \right) \quad (6)$$

Por lo tanto, en un estado estable el factor de perturbación dado por $V_{c3/otro}$ tiende a cero.

El bucle de control de corriente de fuga es estable e independiente del número y de la condición operativa de otros inversores conectados al mismo embobinado del transformador LV/MV.

Esto significa que cada máquina que adopta el método de control descrito anteriormente no requiere cualquier forma

de comunicación con otras máquinas eléctricas colocadas a una proximidad física.
Además, la corriente de fuga tiende al valor deseado ($I_{leak}^*=0$ en el ejemplo considerado).

[0055] Mediante la selección del valor apropiado de I_{leak}^* se obtiene el control completo de la corriente de fuga.
En formas de realización particularmente ventajosas de la invención, se debe intentar eliminar la corriente de fuga residual.

Volviendo a la ecuación (6) se puede observar que la referencia I_{leak}^* para el bucle de control de fuga debe tener el valor:

$$I_{leak}^* = -\frac{V_x}{4R\omega_{cc}} \quad (7)$$

[0056] El bucle de control de la fase CC/CC de cada inversor se puede diseñar de cualquier manera conocida por los expertos en la técnica. Por ejemplo, se puede usar una arquitectura de compresor de canal doble, el primer canal conectado al condensador C3/x y el segundo al condensador C2/x.

La única restricción que debe ser observada es la jerarquía de ancho de banda correcta.
En general, es aconsejable que

$$\omega_{cc}^{Volt_DC_DC} > 10 * \omega_{cc} \quad (8)$$

donde $\omega_{cc}^{Volt_DC_DC}$ es el valor del polo de ciclo cerrado del bucle de voltaje de la fase CC/CC y ω_{cc} es el valor del polo de ciclo cerrado del equilibrador de corriente de fuga, según la invención.

[0057] Esta condición asegura que no hay influencia del bucle de control de voltaje de la fase CC/CC en el bucle de control de corriente de fuga.

[0058] En la descripción anterior se hizo referencia a un inversor multi nivel.

En el ejemplo ilustrado, los inversores 1 y 2 son inversores de cuatro niveles.

Sin embargo, la invención también puede aplicarse a inversores con solo dos niveles de voltaje.

En este caso, solo un par de condensadores será proporcionado en la entrada de cada inversor, en particular, los condensadores C2/1, C3/1 o C2/2, C3/2, entre los que se proporciona el punto de tierra central aislado T1 o T2.

La fuente CC se conecta a la disposición de series de los dos condensadores.

[0059] Además, en el ejemplo ilustrado, se hace referencia específica a un sistema que convierte energía eléctrica que viene de dos fuentes CC representadas por paneles o campos de paneles fotovoltaicos PV1 y PV2, y que provee la salida de energía CA de los inversores a una red de distribución GR.

Otras formas de realización pueden proveer usos diferentes de la energía proporcionada por los inversores.

En algunas formas de realización, los inversores se pueden conectar en paralelo a una carga común, por ejemplo, un motor eléctrico trifásico.

En otras formas de realización, el sistema se puede configurar para suministrar una carga y, en el caso de que la energía exceda la absorbida por la carga, suministrar el exceso de energía a una red de distribución eléctrica.

[0060] Aunque, como está claro en la descripción de abajo, el uso de dos bucles de control de corriente de fuga, uno de cada inversor, permite la convergencia rápida de los sistemas hacia la condición de estado estable, con corriente de fuga cero o más generalmente igual al valor deseado I_{leak}^* , en algunas formas de realización, uno de los dos inversores puede estar sin el bucle de control de corriente de fuga.

De hecho, en el caso donde el sistema comprende solo dos inversores, la misma corriente de fuga a tierra I_{leak} circula a través de los dos inversores.

Con un bucle de control que elimina la corriente de fuga en un inversor, la corriente de fuga del otro inversor se elimina automáticamente.

En otras formas de realización, con un número superior de inversores en paralelo, es posible de nuevo que uno de los inversores esté desprovisto del bucle de control de corriente de fuga.

Por lo tanto, en la práctica, si cada inversor dispone de un bucle de control de la corriente de fuga a tierra, se obtiene un sistema redundante.

El fallo de uno de los bucles de control no perjudica la operación de todo el sistema, en cualquier caso, permite que la corriente de fuga se mantenga bajo control y se suprima.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de conversión de energía eléctrica que comprende: al menos un primer inversor (1) y al menos un segundo inversor (2), cuyas salidas se conectan en paralelo; al menos una primera fuente de voltaje CC (PV1) conectada a la entrada del primer inversor (1) y una segunda fuente de voltaje CC (PV2) conectada a la entrada del segundo inversor (2); una conexión a tierra del primer inversor (1) y una conexión a tierra del segundo inversor (2); donde la conexión a tierra de, al menos, uno de dicho primer inversor y segundo inversor comprende una derivación de conexión a tierra (1 G; 2G) con un sensor de corriente (5/1; 5/2) que provee una señal proporcional a una corriente de fuga a tierra (I_{leak}) medida en dicha derivación de conexión a tierra (1G; 2G); y donde de dicha señal suministrada por dicho sensor de corriente, se genera una señal de realimentación para controlar la corriente de fuga a tierra (I_{leak}), dicha señal de realimentación se aplica a un bucle de control para el control del voltaje a través del condensador de volumen del inversor respectivo.
2. Sistema, según la reivindicación 1, **caracterizado por el hecho de que** al menos uno de dichos inversores comprende el bucle de control que, basándose en dicha señal proporcional a la corriente de fuga a tierra medida (I_{leak}) y en una referencia de corriente de fuga deseada (I_{leak}^*), imparte una variación de voltaje a través del condensador de volumen (C3/1 C3/2) de, al menos, dicho inversor (1, 2), dicha variación de voltaje es adecuada para reducir la diferencia entre la corriente de fuga a tierra medida (I_{leak}) y la referencia de corriente de fuga deseada (I_{leak}^*).
3. Sistema, según la reivindicación 2, **caracterizado por el hecho de que** cada uno de dicho primer inversor y segundo inversor (1, 2) tiene una derivación de conexión a tierra (1 G, 2G) que comprende un respectivo sensor de corriente (5/1; 5/2) para suministrar una señal proporcional a la corriente de fuga a tierra (I_{leak}) medida por dicho sensor de corriente y **de que** cada uno de dichos inversores (1, 2) comprende un bucle de control que, basándose en la señal proporcional a la corriente de fuga a tierra medida (I_{leak}) y en la referencia de corriente de fuga deseada (I_{leak}^*) imparte una variación de voltaje a través del condensador de volumen (C3/1; C3/2) del inversor respectivo (1,2), dicha variación de voltaje está adaptada para reducir la diferencia entre la corriente de fuga a tierra medida (I_{leak}) y la referencia de corriente de fuga deseada (I_{leak}^*).
4. Sistema, según la reivindicación 1, 2 o 3, **caracterizado por el hecho de que** este comprende N inversores cuyas salidas se conectan en paralelo y **de que** al menos N-1 de cada uno de dichos inversores comprende: una derivación de conexión a tierra (1 G,2G) que comprende un sensor de corriente respectivo (5/1,5/2) para suministrar una señal proporcional a la corriente de fuga a tierra (I_{leak}) medida por dicho sensor corriente; y un bucle de control respectivo que, basándose en la señal proporcional a la corriente de fuga a tierra (I_{leak}) medida por el respectivo sensor de corriente (5/1, 5/2) y en la referencia de corriente de fuga deseada (I_{leak}^*), imparte una variación de voltaje a través del condensador de volumen (C3/1; C3/2) del inversor respectivo (1,2), dicha variación de voltaje está adaptada para reducir la diferencia entre la corriente de fuga a tierra medida (I_{leak}) y la referencia de corriente de fuga deseada (I_{leak}^*).
5. Sistema, según una o varias de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por el hecho de que** la corriente de fuga deseada (I_{leak}^*) es igual a cero.
6. Sistema, según una o varias de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por el hecho de que** cada uno de dichos inversores comprende al menos dos condensadores de volumen (C2/1, C3/1 ; C2/2; C3/2) en series, entre las que se define un punto de conexión central (T1; T2) es definido, los puntos de conexión centrales (T1, T2) de los dos inversores (1, 2) son del mismo potencial y donde, preferiblemente, la fuente de voltaje CC (PV1, PV2) de cada inversor se conecta con sus polos positivos y negativos a través de dichos dos condensadores de volumen en series.
7. Sistema, según la reivindicación 6, **caracterizado por el hecho de que** cada inversor que comprende un bucle de control de corriente de fuga está asociado con un bucle de control del voltaje a través de dichos condensadores de volumen.
8. Sistema, según una o varias de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por el hecho de que** dichos inversores son inversores multi nivel con una pluralidad de condensadores de volumen (C1/1, C2/1, C3/1, C4/1; C1/2, C2/2, C3/2, C4/2) en series conectados a la entrada del inversor respectivo.
9. Sistema, según una o varias de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por el hecho de que** cada uno de dichos inversores comprende una fase CC/CC (1 A, 2A) y una fase CC/CA (1 B, 2B).
10. Sistema, según una o varias de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por el hecho de que** dicha derivación de conexión a tierra (1 G, 2G) comprende uno o varios de los siguientes elementos: un resistor (7/1; 7/2) en series con dicho sensor de corriente (5/1;5/2); un fusible de protección (6/1; 6/2).
11. Sistema, según una o varias de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por el hecho de que** dichos

inversores (1, 2) se conectan en paralelo a una red de distribución eléctrica (GR).

12. Sistema, según una o varias de las reivindicaciones anteriores, donde dichas fuentes de conexión a tierra de voltaje CC (PV1, PV2) son fuentes de energía renovables y comprenden, preferiblemente, paneles fotovoltaicos.

13. Sistema, según la reivindicación 12, **caracterizado por el hecho de que** cada inversor comprende un bucle de control de voltaje en la salida de la fuente de voltaje CC (PV1, PV2) para ejecutar un algoritmo MPPT y **de que** la variación de voltaje a través del condensador de volumen (C3/1, C3/2) es impartida por dicho bucle de control de voltaje.

14. Sistema, según una o varias de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por el hecho de que** las salidas de dichos inversores se conectan a un mismo embobinado de un transformador.

15. Método para controlar la corriente de fuga a tierra en un sistema que comprende: al menos un primer inversor (1) y al menos un segundo inversor (2), cuyas salidas se conectan en paralelo; al menos una primera fuente de voltaje CC (PV1) conectada a la entrada del primer inversor (1) y una segunda fuente de voltaje CC (PV2) conectada a la entrada del segundo inversor (2); una conexión a tierra del primer inversor (1) y una conexión a tierra del segundo inversor (2); detectando una corriente de fuga a tierra (I_{leak}) en la conexión a tierra (1 G; 2G) de, al menos, uno de dichos inversores (1, 2), y generando una señal de realimentación para controlar dicha corriente de fuga a tierra, dicha señal de realimentación se aplica a un bucle de control para el control del voltaje a través del condensador de volumen del inversor respectivo.

16. Método, según la reivindicación 15, que comprende el paso del control de un voltaje a través de, al menos, un condensador de volumen (C3/1; C3/2) en la entrada de al menos dicho inversor (1, 2) para impartir a dicha corriente de fuga a tierra (I_{leak}) una variación hacia un valor de corriente de fuga deseada (I_{leak}^*), dicho valor de corriente de fuga deseado es preferiblemente cero.

17. Método, según la reivindicación 15 o 16, donde se detecta la corriente de fuga a tierra (I_{leak}) de cada uno de dichos inversores y se genera una señal de realimentación para cada uno de dichos inversores, para controlar la corriente de fuga a tierra.

18. Método, según la reivindicación 16, donde se detecta la corriente de fuga a tierra (I_{leak}) de cada uno de dichos inversores y se controla un voltaje a través de, al menos, dicho condensador de volumen respectivo (C3/1 C3/2) para cada uno de dichos inversores, para impartir a dicha corriente de fuga a tierra (I_{leak}) una variación hacia un valor de corriente de fuga deseado (I_{leak}^*).

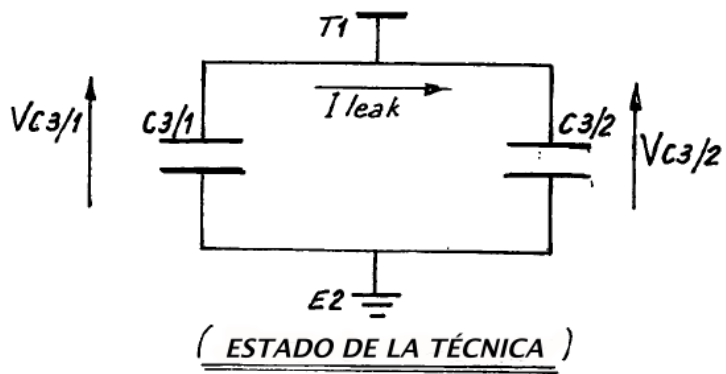
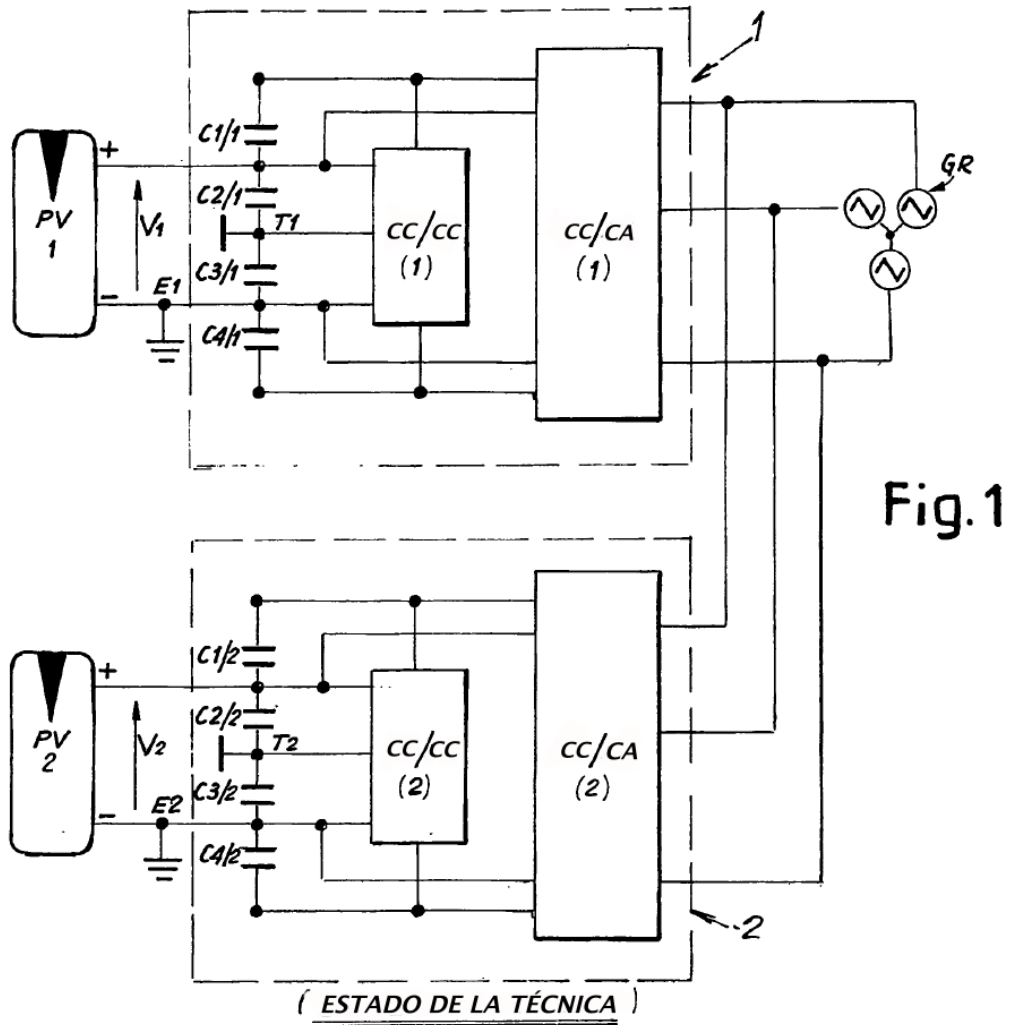
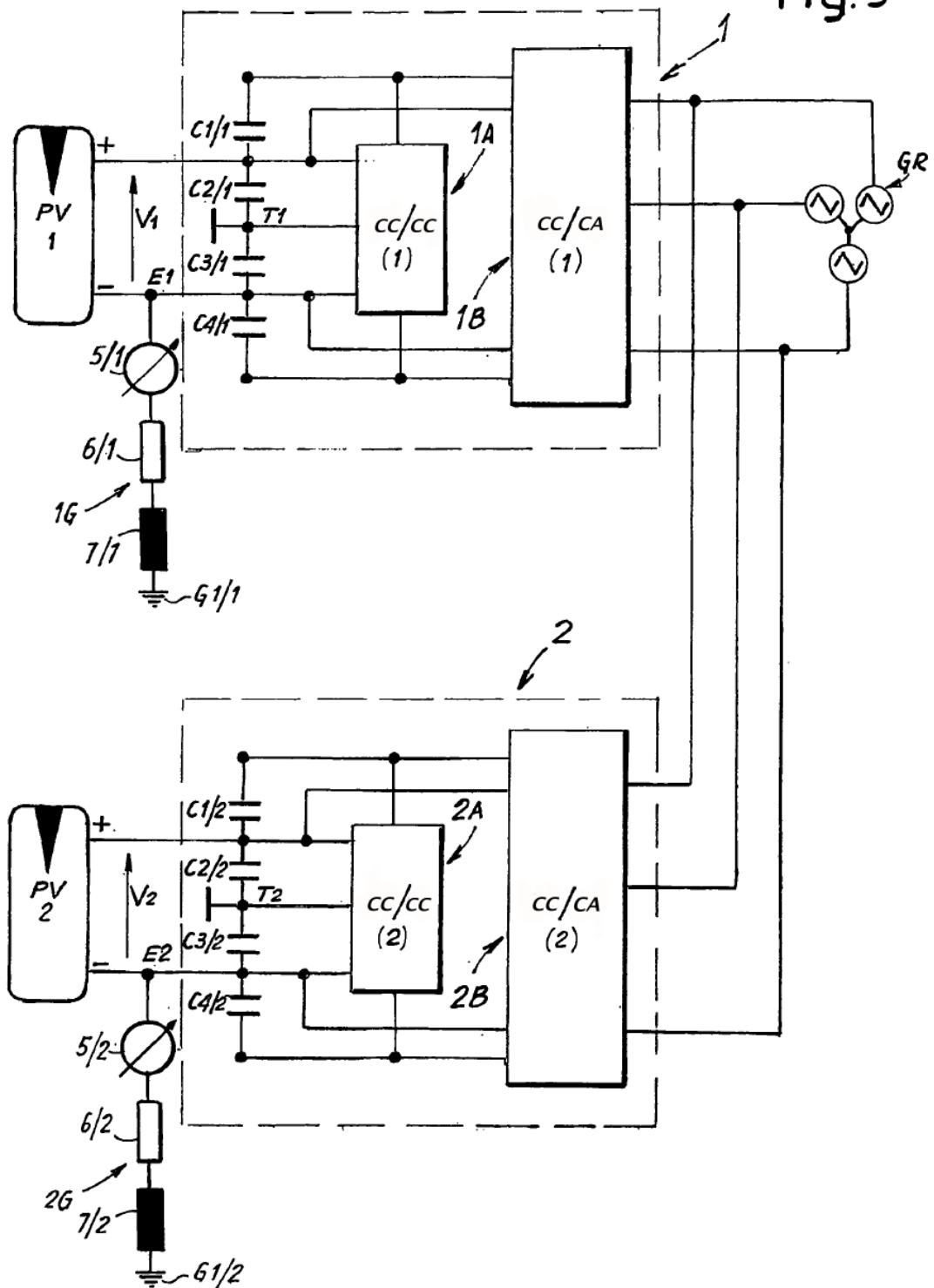


Fig. 3



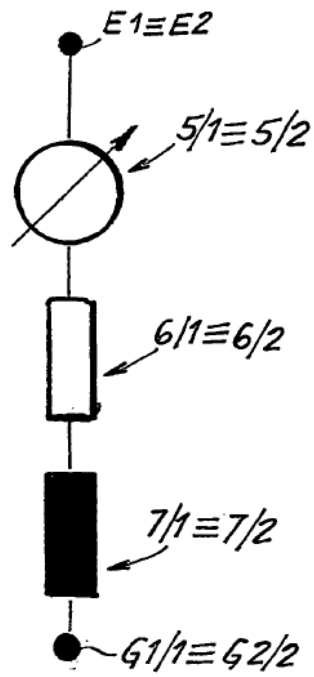


Fig. 4

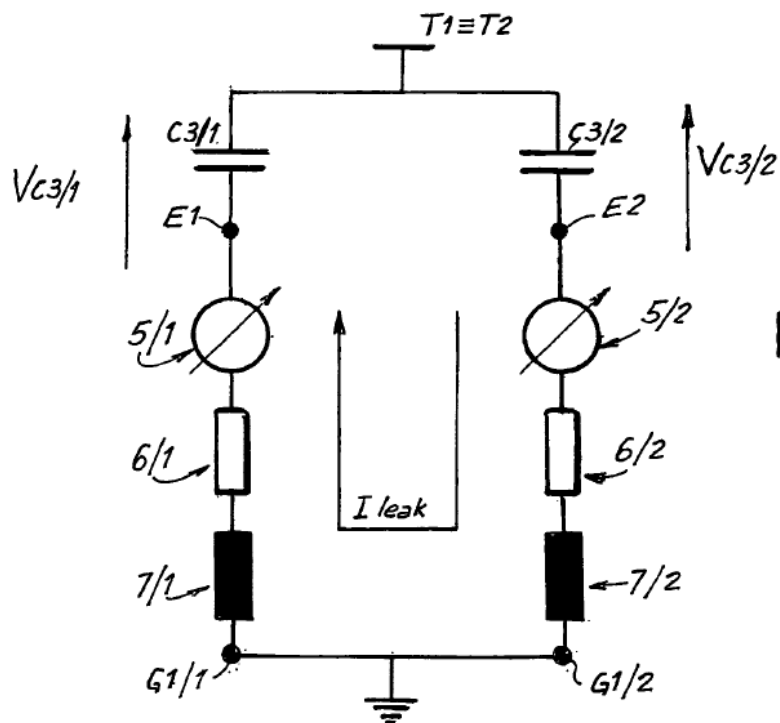


Fig. 5

Fig. 6

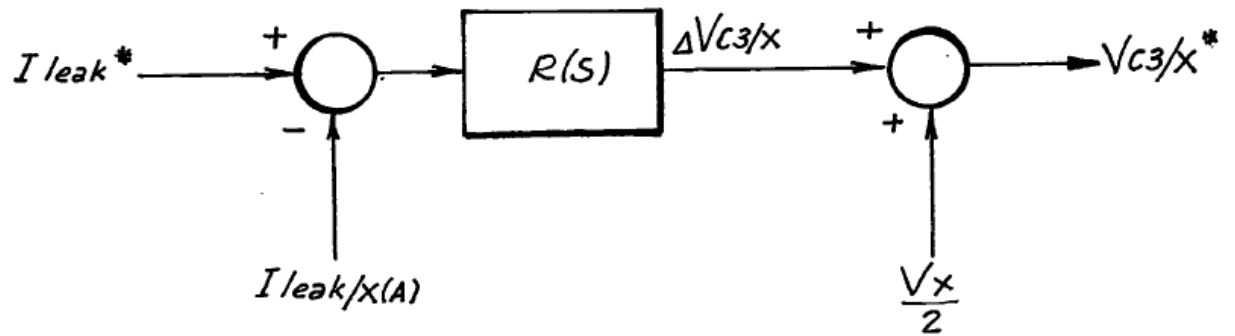


Fig. 7

