

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 763 328**

51 Int. Cl.:

**H03K 7/10** (2006.01)

**H02H 7/10** (2006.01)

**H02J 3/36** (2006.01)

**H01H 33/59** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.11.2011 PCT/EP2011/070674**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.05.2012 WO12069468**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.11.2011 E 11801619 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.10.2019 EP 2643930**

54 Título: **Disposiciones de circuitos para redes CC controladas electrónicamente**

30 Prioridad:

**22.11.2010 DE 102010052136**

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

**28.05.2020**

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)  
Werner-von-Siemens-Straße 1  
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**MARQUARDT, RAINER**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 763 328 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**

Disposiciones de circuitos para redes CC controladas electrónicamente

La invención se refiere a un dispositivo de conmutación en una red de tensión continua.

La invención se refiere además a un procedimiento para separar una red de potencia de corriente continua.

5 Los sistemas electrónicos de potencia en el suministro de energía - con tensiones y potencias necesarias muy altas – son cada vez más importantes. En particular, para redes de corriente continua de alta tensión futuras, ramificadas y expandidas espacialmente (en inglés.: *multiterminal-HVDC*) se requieren disposiciones de circuito que permitan el control seguro y rápido de posibles averías así como pérdidas mínimas de energía en el funcionamiento normal. Estos requisitos aparecen en particular en redes de corriente continua futuras con tensiones elevadas y transmisión a distancia transnacionales. Para las potencias necesarias muy elevadas se han utilizado hasta el momento principalmente convertidores de corriente con tiristores convencionales y corriente continua aplicada (convertidores de corriente conmutados por la red, en inglés.: *line commutated converters*, LCC). Los convertidores de corriente guiados por la red sin embargo no cumplen los requisitos en alza en el futuro con respecto a compensación de potencia reactiva altamente dinámica, estabilización de tensión de red así como aplicabilidad favorable de cables CC (cable de corriente continua).

10 Los tipos convertidores de corriente utilizados con corriente continua aplicada (en inglés: *current source converter*) no son adecuados además para la realización ventajosa de redes HVDC ramificadas (en inglés: *HVDC-multiterminal-grids*) Como tipo de circuito preferente por tanto se utilizan convertidores de corriente automáticos con tensión continua aplicada. (en inglés: *voltage source converter*, "VSC"). Las desventajas inherentes de este tipo de circuito se han eliminado mediante desarrollos más novedosos - en particular las medidas descritas en el documento DE 10103031A1 "Circuitos de convertidores de corriente con acumuladores de energía distribuidos". Las condiciones para controlar cortocircuitos en las redes de corriente continua conectadas han resultado esencialmente más favorables mediante la supresión de baterías de condensador en el lado de CC. A pesar de los avances en el desarrollo mencionados el control seguro, rápido y reversible de casos de avería importantes en redes HVDC expandidas espacialmente no se ha resuelto de manera satisfactoria.

20 Las correspondientes redes HVDC expandidas espacialmente ramificadas se necesitarán con urgencia en un futuro entre otros para parques eólicos marinos expandidos y la utilización de grandes centrales solares en zonas desérticas lejanas. En particular deben poder controlarse cortocircuitos en la red HVDC y deben poder desconectarse secciones de la red defectuosas / cortocircuitadas.

30 Debido a problemas físicos fundamentales no se dispone de conmutadores mecánicos favorables para las tensiones CC extremadamente altas que pueden conmutar corrientes de fallo bajo carga. También los tiempos de desconexión y las sobretensiones de conexión que pueden alcanzarse en cuanto a la técnica de conmutadores mecánicos son extremadamente molestos. Por lo tanto de acuerdo con el estado de la técnica los conmutadores mecánicos para estas aplicaciones pueden realizarse favorablemente solo como seccionadores de conexión sin carga (sin corriente).

35 La figura 1 muestra – para una explicación adicional del estado de la técnica- un fragmento de una red HVDC ramificada, expandida espacialmente. Muestra a modo de ejemplo una barra ómnibus con los conductores PS o NS, que con respecto a tierra en el funcionamiento normal en general conducen una tensión positiva (PS) o negativa (NS). La diferencia de tensión global entre ambos conductores está señalada con (Ud0). Cada uno de los sistemas parciales conectados está unido a través de un convertidor U trifásico con una red de corriente trifásica sin potencial. La separación de potencial se realiza en general con transformadores convencionales que están diseñados para la frecuencia de red (principalmente 50 Hz o 60 Hz). Por ello es posible entre otros operar la red de corriente continua sin potencial y simétricamente respecto a tierra (figura 1) o con potencial y asimétricamente respecto a tierra (figura 2).

Representan:

- 45 6: inductancias de línea del lado CC  
 7: conmutador del lado CC  
 701: circuito equivalente de una primera red de corriente trifásica  
 702: circuito equivalente de una segunda red de corriente trifásica  
 801, 802: disyuntores mecánicos, del lado de corriente trifásica  
 50 901: primer convertidor U (VSC), con las conexiones (L1, L2, L3) del lado de corriente trifásica y las conexiones (P1, N1) del lado de CC, que guían a través de conmutadores del lado CC (7) a la barra ómnibus CC (PS, NS).  
 902: segundo convertidor U – análogo a 901 – conectado a la segunda red de corriente trifásica, cuyas conexiones del lado CC (P2, N2) guían a través de conmutadores adicionales del lado CC (7)

igualmente a la barra ómnibus CC (PS, NS).

Mediante una serie de sucesos de fallos en el sistema CC - en particular conductores / cortocircuitos de conductor o contactos a tierra - las corrientes en el lado CC pueden adoptar valores altos inadmisibles. Para controlar estos fallos es deseable que

- 5 - las corrientes altas resultantes se limiten de la mejor manera posible para evitar daños en el convertidor e instalaciones debido a temperaturas extremas y efectos de fuerza magnética, y
- se corte la corriente en secciones defectuosas de la red CC lo más rápido posible y se separen del resto de la red CC.

De acuerdo con el estado de la técnica entre otros, por el documento WO 2008/067786 : "Elementos de protección semiconductores para el control de cortocircuitos del lado CC en convertidores de tensión indirectos" se sabe que es posible una apertura del disyuntor (801, 802) en el lado de la corriente trifásica para limitar corrientes defectuosas del lado CC aunque es muy desventajoso. Las elevadas corrientes o los largos tiempos de desconexión resultantes llevan a adoptar medidas de protección complejas adicionales para los semiconductores de los convertidores U (901, 902) – como se expone en el documento de patente anteriormente mencionado. Por lo demás la transmisión de energía se interrumpe durante mucho tiempo de un modo molesto. Por consiguiente es deseable que las corrientes en el lado de la corriente trifásica ( $i_u$ ,  $i_v$ ,  $i_w$ ) se vean perturbadas lo menos posible y se evite una activación de los disyuntores en el lado de la corriente trifásica (801, 802). Una meta importante adicional es mantener el flujo de potencia en las partes defectuosas de la red HVDC o so restablecerla tan pronto como sea posible. Un apagado y nueva conexión de los disyuntores en el lado de la corriente trifásica (801, 802) sin embargo provocaría ya tiempos de interrupción muy molestos de en general claramente por encima de 200 ms. Se conoce una sustitución de disyuntores mecánicos por disyuntores electrónicos en el lado CC y permite tiempos de conexión esencialmente menores (véase entre otros el documento US005999388A: "Método y aparato para limitar la corriente en una red de tensión directa de un sistema de transmisión de potencia"). (Las características del preámbulo de la reivindicación 1 proceden de este documento US005999388A .)

25 Una disposición de este tipo está representada para una explicación adicional en la figura 3.

Con este fin se requieren

- semiconductores de potencia (1) desconectables, en general en forma de transistores IGBT
- diodos antiparalelos (2) o semiconductores de potencia desconectables adicionales
- 30 - medidas para la división de tensión uniforme de los semiconductores, en general resistores de circuito de alta impedancia (5)
- limitadores de sobretensión con alta capacidad de absorción de energía (8), en general en forma de varistores.

En el presente campo de aplicación – que está caracterizado por tensiones y potencias muy altas, así como funcionamiento continuo en gran medida – las desventajas de dicha solución sin embargo son muy graves.

Estas son:

- 35 - el alto número de semiconductores (1, 2) conectados en serie;
- el enfriamiento forzado, necesario de los semiconductores, dado que estos en el funcionamiento continuo generan altas pérdidas de transmisión;
- el requisito de un control de puerta electrónico de estos semiconductores de alto potencial respecto a tierra y la facilitación segura de energía de control a este alto potencial;
- 40 - la complejidad elevada que no puede reducirse en la realización de varios conmutadores en un lugar;
- la potencia perdida considerable en el estado de conducción de los semiconductores, que corresponde al funcionamiento continuo normal – por que los costes operativos corrientes de la instalación son elevados;
- en la operación de desconexión los elementos de protección de sobretensión (8) adicionales en los conmutadores semiconductores individuales deben absorber las energías magnéticas considerables de las
- 45 secciones de red de la red CC desconectada.

Este último punto mencionado es muy desventajoso porque, debido al gran número de los elementos de protección de sobretensión (8) necesarios, en general solo pueden utilizarse varistores sencillos con característica de limitador no ideal. El número de los semiconductores conectados en serie necesarios aumenta por ello de nuevo.

Un aumento adicional de la complejidad y de las pérdidas de transmisión aparece cuando el conmutador electrónico en ambas direcciones de corriente tiene que ser capaz de desconectarse (véase figura 3, parte inferior). Esta exigencia aparece cuando el conmutador electrónico debe poder utilizarse en lugares discrecionales de una red CC general.

Por el documento DE 23 11 744 A1 se conoce una disposición para la desconexión de corrientes continuas por medio de un conmutador híbrido, en donde entre el conmutador híbrido y un consumidor están dispuestos dos elementos de corriente transversal conectados en paralelo cuyos condensadores cargados pueden conmutarse para formar una tensión de conmutación que se apaga en el conmutador híbrido. El objetivo de la invención es evitar estas desventajas y permitir disposiciones de circuito realizables favorablemente para conmutadores CC con las siguientes propiedades esenciales:

- Los tiempos de desconexión alcanzables son muy cortos de modo que no tienen que apagarse los conmutadores del lado de corriente trifásica y el flujo de energía en la red de corriente continua no se ve perturbado de forma considerable;
- Los semiconductores no requieren ningún enfriamiento forzado dado que en el funcionamiento continuo normal no presentan ninguna potencia perdida de transmisión;
- La energía de control de los semiconductores puede obtenerse de la tensión de bloqueo aplicada en los mismos semiconductores;
- Las sobretensiones de conmutación pueden fijarse y limitarse a valores favorables mediante el dimensionamiento de los componentes que hacen posible una dimensión rentable de los aislamientos en la red de corriente continua;
- En el caso de aplicación típico de la realización de varios conmutadores en un lugar la complejidad de circuitos puede reducirse adicionalmente mediante el uso de componentes comunes.

Este objetivo se resuelve mediante un dispositivo y mediante un procedimiento según las reivindicaciones independientes.

La invención resuelve estos objetivos mediante un dispositivo de conmutación de corrientes continuas en una red de tensión continua con dos conmutadores híbridos conectados en serie en sentidos opuestos, que presentan en cada caso un circuito paralelo de un conmutador dependiente de la dirección de corriente no controlado y de un conmutador controlable, en donde el punto de unión interno entre los conmutadores híbridos configura una tercera conexión y los dos conmutadores híbridos conectados en serie en sentidos opuestos con una primera y una segunda conexión pueden insertarse en una primera línea de la red de tensión continua; con dos elementos de amortiguación polarizados que están configurados para la absorción de energía en solo una polaridad de la tensión de borne aplicada, en donde el primer elemento de amortiguación polarizado está conectado a la primera conexión de los conmutadores híbridos conectados en serie y puede conectarse con una segunda línea de la red de tensión continua y/o un potencial de tierra, y el segundo elemento de amortiguación polarizado está conectado a la segunda conexión de los conmutadores híbridos conectados en serie y puede conectarse con la segunda línea de la red de tensión continua y/o el potencial de tierra; y con un generador de impulsos de corriente, que - en respuesta a un comando de control - está configurado para generar un impulso de corriente unipolar que atraviesa la tercera conexión y los elementos de amortiguación polarizados, de modo que la dirección de corriente en uno de los conmutadores híbridos no puede invertirse por poco tiempo.

Los subsistemas mencionados, es decir el conmutador híbrido, el elemento de amortiguación y el generador de impulsos de corriente, unidos a las disposiciones de circuito de acuerdo con la invención, descritas a continuación hacen posible la realización conmutadores de corriente continua unipolares y multipolares con las propiedades ventajosas mencionadas.

Una propiedad caracterizadora adicional de todos los subsistemas de acuerdo con la invención es su viabilidad como bipolo. Esto permite no sólo un número reducido de conexiones externas ("bornes") sino una conexión en cascada generosa, es decir: cada subsistema de tensión más alta puede formarse en cualquier momento mediante un circuito en serie de un número discrecional de subsistemas de tensión pequeña. Por lo demás mediante este proceder de acuerdo con la invención se hace posible un concepto de redundancia consistente, que haga posible el funcionamiento seguro del conmutador CC también en caso de fallos de uno o varios subsistemas.

Una ventaja técnica adicional representa en este contexto el hecho de que los subsistemas de acuerdo con la invención no necesitan semiconductores con líneas de contacto propensas a fallos, no resistentes a sobrecorriente momentánea - como por ejemplo cables interconectados en transistores IGBT. Porque las disposiciones de circuito de acuerdo con la invención pueden realizarse exclusivamente con diodos semiconductores y tiristores como semiconductores en cambio pueden utilizarse elementos constructivos con contacto por presión resistente a sobrecorriente momentánea.

En particular la capacidad de conexión en serie discrecional de todos los subsistemas de acuerdo con la invención hace posible una selección libre de la tensión nominal de los elementos constructivos utilizados independientemente de la tensión predeterminada de la red de corriente continua. Un aspecto a este respecto son motivos económicos y la disponibilidad habitual en el mercado de los elementos constructivos. Un grado de libertad técnicamente más importante que resulta de esta propiedad es sin embargo la optimización de la velocidad de conmutación de los conmutadores de corriente continua realizables.

Para las disposiciones de circuito de acuerdo con la invención este grado de libertad explicado de la bipolaridad y de la conexión en cascada discrecional hace posible que se alcance una velocidad de conmutación requerida, alta. Tal como se explicará a continuación, los elementos constructivos relevantes en este caso pueden mejorarse claramente mediante selección de una tensión nominal más baja con respecto a su velocidad de conmutación. Esto se cumple por ejemplo para tubos de conmutación de vacío (debido a trayectos de accionamiento mecánicos, más cortos y masas más reducidas) así como de modo conocido también para diodos semiconductores y tiristores en cuanto a sus tiempos de recuperación en sentido inverso y /o tiempos de liberación.

La invención resuelve este objetivo también mediante un procedimiento para separar una red de potencia de corriente continua con las etapas: generar un pulso de corriente que en un conmutador híbrido, que presenta un circuito paralelo de un conmutador dependiente de la dirección de corriente no controlado y de un conmutador controlable, en el lado situado en la dirección de flujo de corriente en poco tiempo provoca una inversión de corriente de modo que el conmutador controlable del conmutador híbrido durante la inversión de corriente puede ir apagándose y de este modo separa la alimentación de corriente entre una fuente y un consumidor, en donde un elemento de amortiguación polarizado en el lado situado en la dirección de flujo de corriente amortigua la tensión polarizada en el lado situado en la dirección de flujo de corriente y por ello desexcita la inductancia de potencia en el lado del consumidor, en donde un generador de impulsos de corriente amortigua la tensión acentuada en el lado situado en contra de la dirección de flujo de corriente.

Otras configuraciones y ventajas convenientes de la invención son objeto de la siguiente descripción de ejemplos de realización de la invención con respecto a las figuras del dibujo, en donde los mismos números de referencia remiten a las piezas constructivas de igual efecto y en donde

figuras 1-3 muestran en cada caso un fragmento de una red de tensión continua ramificada expandida espacialmente según el estado de la técnica,  
 figuras 4-6 disposiciones de conmutadores CC esquemáticas, en donde los conmutadores mismos están simbolizados esquemáticamente mediante conmutadores mecánicos,  
 figuras 8-12 ejemplos de realización del dispositivo de acuerdo con la invención,  
 figuras 13-19 ejemplos de realización para un conmutador híbrido, un elemento de amortiguación polarizado o un generador de impulsos de corriente y  
 figuras 20-21 soluciones para la controlabilidad de la división de la corriente.

Las figuras 1 a 3 ya se han descrito como pertenecientes al estado de la técnica en la introducción de la descripción.

La figura 4 muestra un conmutador CC unipolar, que se utiliza en una red CC sencilla, puesta a tierra en general por un lado (red de corriente continua o red de tensión continua) para separar la línea positiva (P1 hacia P11). Esta disposición puede ser suficiente en caso de que la línea negativa (N0) esté puesta a tierra de

La figura 5 muestra una disposición análoga a la figura 4 - aunque con varios (en este caso a modo de ejemplo: dos) conmutadores de corriente continua - que llevan a una barra ómnibus (PS) común.

La figura 6 muestra una disposición análoga a la figura 4 a la que sin embargo se ha añadido una línea DC adicional con polaridad negativa y conmutador. Las tensiones CC (UP1 hacia N0) de los conductores positivos y (UN2 por N0) de los conductores negativos - en cada caso medidos hacia la línea puesta a tierra, común - se seleccionan en este caso en general del mismo tamaño en cuanto a la cantidad. Las corrientes de carga de la línea positiva (i1) y de la línea negativa (i2) sin embargo pueden ser diferentes ya en el funcionamiento normal. Los dos conmutadores (7) por lo tanto deben poder desconectarse en general individualmente, es decir: de manera independiente uno de otro.

La figura 7 muestra una disposición análoga a la figura 6 aunque sin línea cero conductora de corriente. Mediante medidas adecuadas de puesta a tierra - en general una conexión de potencial de alta impedancia mediante resistores - se garantiza que las tensiones de la línea positiva (UP1E) y de la línea negativa (UN2E) están divididas respecto a tierra simétricamente. En el caso de contactos a tierra sin embargo esta distribución puede desplazarse, por lo que de manera indeseada se exige un aislamiento alto. En una red CC, de funcionamiento simétrico, aislada en caso de averías se exige en general una desconexión bipolar, en donde el accionamiento de los interruptores (7) puede realizarse conjuntamente. Para una explicación más detallada de la invención se expone inicialmente la realización de un conmutador unipolar (véase figura 4).

Una realización correspondiente, de acuerdo con la invención está representada en la figura 8. Fundamentalmente las disposiciones de circuito de acuerdo con la invención para la realización de conmutadores CC unipolares o multipolares contienen los siguientes subsistemas, que están caracterizados por las siguientes propiedades:

a) elementos de conmutación, en lo sucesivo denominados conmutadores híbridos (100) que presentan internamente un circuito paralelo de conmutadores no controlados (12) y conmutadores controlables (18). A este respecto el conmutador no controlado (12) está realizado preferiblemente como al menos un diodo semiconductor y el conmutador controlado (18) está realizado preferiblemente como al menos un tubo de

conmutación de vacío (figura 13).

b) elementos de amortiguación (200) polarizados, que en una polaridad de la tensión de borne aplicada absorben energía por disipación y en la polaridad opuesta de la tensión de borne aplicada se oponen a un flujo de corriente y por consiguiente a una conversión de energía. Estos elementos de amortiguación polarizados están realizados preferiblemente como circuito en serie de resistores lineales (19) o no lineales (15) y diodos semiconductores (2) (figura 14, figura 15).

c) generadores (300) de impulsos de corriente que respondiendo a un comando de control externo generan un impulso de corriente unipolar. Estos contienen al menos un acumulador de energía capacitivo (10), que se carga a partir de la tensión CC aplicada en los bornes y que, en combinación con componentes (2, 13) adicionales, forma una rama de circuito para limitar sobretensiones (figura 16).

La figura 9 muestra una disposición de acuerdo con la invención análoga a la figura 8 - aunque con polaridad inversa de todos los subsistemas. Una variante de este tipo es adecuada para la realización de un conmutador CC en una red CC de polaridad inversa. Esto se corresponde principalmente con el conmutador inferior (7) en la figura 6, que separa los puntos (N2) y (N21). Si los puntos (P0) de la figura 9 se unen mediante conducción eléctrica con los puntos (N0) de la figura 8 resulta una disposición análoga a la ya descrita en la figura 6.

La figura 10 muestra una disposición de acuerdo con la invención que realiza la función del conmutador CC bipolar según la figura 7. Es ventajoso que, tanto los elementos de amortiguación (200) polarizados como el generador de impulsos de corriente (300), solo son necesarios una vez.

La figura 11 muestra una disposición de acuerdo con la invención análoga a la figura 10. A diferencia de la figura 10 los generadores de impulsos de corriente (300) y los elementos de amortiguación polarizados (200) están divididos de tal modo que en sus puntos de unión (E) existe una posibilidad para una puesta a tierra. Esto puede ser útil según el concepto de puesta a tierra de la red de corriente continua. En particular la puesta a tierra del punto de unión (E0), hace posible que en una red CC (figura 7 y explicación al respecto) sin potencial, operada de manera simétrica-terrestre el desplazamiento de potencial indeseado en fallos de contacto a tierra gracias a la propiedad de los subsistemas (300) de limitación de sobretensión o también (400) - si están presentes puede limitarse. Por ello puede conseguirse que los aislamientos de los componentes de la red CC se exijan más reducidos.

La figura 12 muestra una disposición de circuito de acuerdo con la invención, que realiza la función de los conmutadores (7) múltiples representados en la figura 5 en una barra ómnibus común. Es ventajoso que el generador de impulsos de corriente (300) solo sea necesario una vez porque su impulso de corriente (iS) puede distribuirse mediante los diodos (2). Mediante la figura 8, para explicar adicionalmente invención, se explica a continuación de nuevo la realización de un conmutador unipolar. Un conmutador CC de este tipo sirve para la desconexión rápida bajo corriente de carga y finalmente para hacer posible una separación de las líneas CC entre dos secciones de red de la red CC. La separación y puesta a tierra seguras necesarias a continuación - para posibles trabajos de reparación en la línea CC no es objeto de la presente invención. Los aparatos adecuados para este fin son conocidos y técnicamente realizables porque estos aparatos tienen que funcionar solo posteriormente - en el estado ya sin corriente de la línea CC- así como sin requisitos especiales en la velocidad de conmutación.

Según la invención dos conmutadores híbridos (100) pueden conectarse en sentidos opuestos en serie entre las secciones de red que van a separarse. Al punto de unión de los dos conmutadores híbridos (100) está conectado un generador de impulsos de corriente (300). Cada una de las secciones de red que va a separarse está conectada por lo demás con un elemento de amortiguación (200) polarizado en cada caso. Una construcción de este tipo hace posible ahora que un impulso de corriente (iS) alto generado por el generador de impulsos de corriente (300) con la dirección de corriente ( $iS > 0$ ) técnica dibujada fluya en paralelo distribuido por ambos conmutadores híbridos (100) y los elementos de amortiguación polarizados (200). Los conmutadores (18) controlados de los conmutadores híbridos (100) estaban en general conectados antes de este momento para minimizar las pérdidas de energía (caída de tensión de paso) en el estado normal de la transmisión de corriente. Sin embargo fundamentalmente es también posible que uno de los interruptores (18) - en este caso el izquierdo - no se haya conectado porque el conmutador (12) paralelo, no controlado puede seguir conduciendo corriente. Sin embargo, con respecto a las pérdidas de energía en el funcionamiento continuo normal esto no es ventajoso dado que la caída de tensión de paso de los interruptores (18) en general en potencias de diez se sitúa por debajo de la de los conmutadores (12) no controlados. Esto se cumple en particular en caso de que los conmutadores (18) estén realizados como tubos de conmutación de vacío y los conmutadores no controlados (12) como diodos semiconductores. Durante el impulso de corriente (iS) - o según el tipo de conmutador (18) también ya previamente en el tiempo - los conmutadores controlados (18) se abren. La corriente en uno de los dos conmutadores controlados (18) llegará a cero en caso de un impulso de corriente (iS) suficientemente alto de modo que este se bloquea sin potencia. En el presente ejemplo con corriente positiva ( $i1 > 0$ ) este será el conmutador derecho en la figura 8. La corriente de carga (i11) correspondiente en la sección de red CC seguirá fluyendo debido a la energía alta, almacenada en la inductancia de potencia (6) de momento a través del elemento de amortiguación (200) polarizado y allí decrecerá contra la tensión negativa del elemento de amortiguación.

La corriente de carga correspondiente en la otra sección de red CC (en este ejemplo con  $i1 > 0$ : la parte izquierda

(P1, i1)) seguirán fluyendo por las mismas razones de momento – aunque a través del conmutador híbrido hacia el generador de impulsos de corriente (300) y decrecerá en contra de la tensión de borne del generador de impulsos de corriente. Las realizaciones de acuerdo con la invención del generador de impulsos de corriente (300, 500) presentan a este respecto la propiedad ya explicada de limitar a través de la rama de circuito interna (10, 2, 13) las sobretensiones resultantes en operaciones de conmutación.

Una ventaja adicional de las disposiciones de circuito de acuerdo con la invención consiste en que tanto el generador de impulsos de corriente (300) como un limitador de sobretensión (400) adicional opcional para una disposición dada de varios conmutadores CC en un lugar solo se necesitan una vez. Esto corresponde a un uso múltiple ventajoso. Este hecho se explica a continuación con más detalle mediante la descripción de conmutadores multipolares.

Para la explicación final de la invención es ahora necesario a continuación explicar el circuito interno de los subsistemas, su funcionamiento interno así como variantes de circuito ventajosas:

La figura 13 muestra el circuito interno de un conmutador híbrido (100) de acuerdo con la invención. Contiene un circuito paralelo de un conmutador (12) no controlado y de un conmutador controlable (18). Por lo demás es posible naturalmente una realización con circuito en serie interno de estos elementos. Un número discrecional de conmutadores híbridos (100) puede utilizarse fundamentalmente asimismo como circuito en serie para realizar un conmutador híbrido de tensión alta discrecional. Únicamente han de preverse medidas para división de tensión uniforme conocidas, sencillas – en general resistores de circuito de alta impedancia (5) - con este fin (véase las explicaciones respecto a la figura 3). Una forma de realización preferida de la invención consiste en utilizar para los conmutadores (12) no controlados diodos semiconductores y para los conmutadores controlados (18) tubos de conmutación de vacío. Fundamentalmente pueden utilizarse también otros tipos de conmutador, así como conmutadores semiconductores. Con tubos de conmutación de vacío de tensión de conmutación media debido a los trayectos de accionamiento muy cortos y a las masas en movimiento reducidas pueden alcanzarse tiempos de retardo de desconexión muy cortos. Con este fin se sabe ventajosamente cómo extraer la energía mecánica necesaria para accionar el conmutador desde un resorte precargado, un acumulador de aire comprimido o un acumulador hidráulico.

La figura 14 muestra el circuito interno de un elemento de amortiguación (200) polarizado. Contiene en su forma de realización más sencilla un resistor de amortiguación (19) y un diodo semiconductor (2). Las medidas para la división de tensión uniforme de los diodos semiconductores en el circuito en serie como ya se conoce; pueden aplicarse adicionalmente por ejemplo mediante resistores de circuito de alta impedancia (5).

La figura 15 muestra una variante posible de la figura 14, en la que resistor de amortiguación (19) se sustituye por un varistor (16). Esto tiene la ventaja de que la corriente en una sección separada de la red CC decrece más rápidamente de lo que se realiza manteniendo una sobretensión reducida, predeterminada mediante un resistor de amortiguación lineal (óhmico).

La figura 16 muestra un circuito interno preferido del generador de impulsos de corriente (300). Contiene en la disposición de acuerdo con la invención los siguientes elementos:

- diodo de bloqueo (2)
- resistor en serie (13)
- conmutador semiconductor (11) controlado, en general preferiblemente como tiristor
- acumulador de energía (10) capacitivo
- inductancia (9)
- resistor de conexión (5) de alta impedancia

El acumulador de energía (10) capacitivo se carga automáticamente a través de los elementos (2) y (13) a la tensión CC en el punto de conexión correspondiente de la red CC. Al mismo tiempo la ruta de corriente a través de los elementos (2), (13) y (10) da como resultado ventajosamente una amortiguación de sobretensión en el punto de conexión correspondiente de la red CC.

Si se activa una operación de conmutación de los conmutadores híbridos (100) el conmutador semiconductor (11) controlado se conecta. A continuación, para una explicación sencilla se parte de un tiristor que se enciende. En el primer cuarto de oscilación del círculo de oscilación formado de (9) y (10) la energía del acumulador de energía capacitivo (10) se transforma en la energía magnética de la inductancia (9). Este primer cuarto de oscilación discurre en principio sin amortiguación y puede seleccionarse muy breve en el tiempo. Su duración como se conoce asciende a

$$t_1 = \pi/2 * \sqrt{LC}$$

en donde L designa la inductancia de (9) y C la capacidad de (10)

La amplitud de corriente de la corriente resultante en (9) asciende a

$$i(t_1) = U_c(0) * \sqrt{C/L}$$

en donde  $U_c(0)$  designa la corriente de carga anteriormente existente del acumulador de energía capacitivo (10).

5 Según la invención es ventajoso y técnicamente puede conseguirse sin problemas el hecho de que el tiempo ( $t_1$ ) sea muy breve y la amplitud de corriente  $i(t_1)$  sea alta. Ambas metas se limitan esencialmente mediante las propiedades del conmutador (11). En el caso de un tiristor estas son la velocidad de subida de corriente fiable y la amplitud de sobrecorriente momentánea fiable. Es ventajoso que el circuito de corriente correspondiente en el que se realiza el primer cuarto de oscilación, solo en un círculo definido, espacialmente estrecho guía a través de los elementos igualmente (9, 10, 11) bien definibles y no a través de la red de corriente continua. En el caso de que el motivo para la operación de conmutación necesaria sea un cortocircuito del lado CC será favorable detectar este caso de fallo lo más rápido posible tanto mediante la superación de corrientes CC medidas como mediante la superación de unidades de velocidad de subida de corriente del lado CC para encender el tiristor (11) sin grandes retrasos. No obstante estos y otros métodos de la detección rápida de fallos son conocidos en principio y no son objeto de la presente invención.

Para la utilización de tubos de conmutación de vacíos como conmutadores (18) controlados es favorable y posible accionar estos mecánicamente ya al mismo tiempo con o poco antes del encendido de (11). Esto permite dejar transcurrir su tiempo de recuperación de desconexión mecánico en paralelo a la preparación de la desconexión eléctrica.

20 Después del momento ( $t_1$ ) la tensión del acumulador de energía (10) capacitivo adoptará valores negativos y la corriente en (9) y (11) descenderá hasta que el momento ( $t_2$ ) llegue a cero. Este cuarto de oscilación adicional discurre en las disposiciones de circuito de acuerdo con la invención siguiendo al resistor en serie (13) y a los elementos de amortiguación (200) polarizados en forma amortiguada. Es posible por ello ventajosamente aumentar la duración efectiva del impulso de corriente ( $i_s$ ) generado así como el intervalo de supresión del tiristor (11) esencialmente en mayor medida que los valores que resultan de otro modo a través del círculo de oscilación (9, 10). Por lo demás en la disposición de acuerdo con la invención es posible que el resistor en serie (13) tenga una dimensión tan grande que también en caso de cortocircuitos externos discretivos (fuera del generador de impulsos de corriente (300)) el tiristor (11) tras el final del impulso de corriente vaya apagándose de manera segura.

Con este fin es suficiente seleccionar para el resistor en serie (13) un dimensionamiento de acuerdo con

$$30 \quad R_{13} = \sqrt{L/C}$$

Independientemente de esto la amplitud de corriente deseada, que genera el generador de impulsos de corriente (300) como ya se ha explicado, puede ajustarse según se desee mediante la selección de sus componentes internos (9, 10), así como mediante la medición de los componentes (19, 16) en los elementos de amortiguación polarizados (200, 201).

35 Un parámetro importante adicional es la magnitud de las sobretensiones de conmutación que se forman mediante las operaciones de conmutación en la red CC. Es deseable poder predeterminarlas de manera bien definida y seleccionar la magnitud de las sobretensiones de conmutación solo tan grande que la disminución de la corriente en la sección de red CC separada se realice lo suficientemente rápido. Las disposiciones de circuito de acuerdo con la invención permiten esto ya de principio:

- 40 - las sobretensiones de conmutación negativas se limitan mediante medición correspondiente de los elementos de amortiguación (200) polarizados;
- las sobretensiones de conmutación positivas se limitan mediante los componentes (2, 13, 10) de los generadores de impulsos de corriente (300).

45 El valor mencionado en último lugar sin embargo no puede seleccionarse independientemente de la medición del acumulador de energía capacitivo (10). Por este motivo puede aplicarse opcionalmente una medida adicional en forma de un limitador de sobretensión (400) adicional. Es útil conectar este directamente en paralelo (300) o en el lado del cátodo a su diodo (2).

Las figuras 17 y 18 muestran posibles formas de realización. La figura 17 representa la posibilidad sencilla de la utilización de un varistor (15) que en combinación con componentes (2, 13, 10) ya explicados permite ya una



limitación de sobretensión esencialmente mejorada que en el caso de un solo uso.

Las figuras 18 y 19 muestran en cada caso una forma de realización adicional que permite una limitación de sobretensión extremadamente reducida, especialmente de estrecha tolerancia. Esta es adecuada para cumplir las exigencias más altas en cuanto a la limitación de sobretensión que no pueden alcanzarse con disposiciones conocidas en el alcance de alta tensión. Con este fin los varistores se dividen en un elemento con alta tensión de limitador (15) y un elemento con baja tensión de limitador (16). Opcionalmente puede utilizarse un resistor de conexión (5) de alta impedancia para definir mejor la división de tensión estática que de otro modo se determinaría por las tolerancias de característica de los varistores. Un dimensionamiento útil consiste en que la suma de ambas tensiones de limitador de los varistores (15, 16) se seleccione con una cierta distancia de seguridad por encima de la tensión CC de la red constante más alta. Este límite de medición se conoce por otros limitadores de varistor y debe mantenerse para evitar pérdidas de energía estáticas elevadas. La tensión de limitador dinámica resultante (bajo una corriente de impulso elevada) es entonces alta de manera indeseada (normalmente excesiva en aproximadamente factor 2), porque las curvas características de varistores reales no presentan una pendiente ideal.

Como grado de libertad adicional en la disposición de acuerdo con la invención sin embargo puede seleccionarse el cociente de las dos tensiones de limitador. Este se selecciona – dependiendo de las curvas características de varistor exactas - normalmente de modo que la tensión de limitador (U15) del elemento (15) asciende aproximadamente del triple al quíntuple de la del elemento (16). En el caso estacionario como resultado aproximadamente la tensión de limitador del elemento (16) como tensión de precarga positiva UC) está situada en el acumulador de energía capacitivo (10). Mediante el encendido del tiristor (11) es ahora posible invertir la polaridad de esta tensión de modo que la tensión de limitador de toda la disposición se reduzca de momento el doble que la tensión de precarga anteriormente mencionada. La tensión de limitador reducida permite ahora una limitación de sobretensión dinámica esencialmente mejorada. La corriente de limitador que va a utilizarse lleva a continuación a una carga del acumulador de energía capacitivo (10) hacia la tensión de precarga positiva, anteriormente aplicada que se desea estacionaria. El encendido del tiristor puede realizarse sincrónicamente el del generador de impulsos de corriente. Es por lo demás ventajoso que los mismos componentes (9, 10, 11) puedan emplearse como en el generador de impulsos de corriente. Dado que el limitador de sobretensión en las disposiciones de circuito de acuerdo con la invención pueda utilizarse varias veces para varios conmutadores la complejidad para una realización optimizada según la figura 18 será rentable en muchas aplicaciones.

Un problema adicional de redes de corriente continua expandidas, interconectadas consiste en cuanto a la división de la corriente en secciones de línea eléctricamente paralelas. Ya que estas aparecen de manera incontrolada debido a las caídas de tensión no puede garantizarse una carga límite definida y buen aprovechamiento de las líneas – sin sobrecarga. En el caso de conmutadores híbridos (100) de acuerdo con la invención como solución de poca complejidad para esta controlabilidad de la división de corriente es apropiada la siguiente medida (figura 20 y figura 21):

una fuente de tensión CC (600) controlable con una tensión y potencia pequeñas, comparado con la red de corriente continua se conecta con sus bornes de salida (X,Y) en paralelo a un conmutador híbrido (100).

A este respecto la polaridad de la tensión aplicada ha de seleccionarse de modo que corresponda a la dirección de bloqueo del elemento (12) no controlado, o al diodo semiconductor correspondiente. Mediante esta disposición puede controlarse su caída de tensión de paso natural de valores positivos continuamente a valores negativos y por consiguiente influir en la distribución de corriente de manera deseada. Esta función puede activarse en cualquier momento mediante apertura del conmutador controlado (18) paralelo y mediante un cierre de este conmutador.

Un convertidor de corriente (601) sencillo, conmutado por la red con solo una polaridad de corriente-tensión en el lado de salida puede asumir la función de la fuente de tensión CC (600) que fundamentalmente puede añadirse a cada conmutador híbrido (100). En general, sin embargo será suficiente conectar solo uno o pocos conmutadores híbridos. Para conmutadores híbridos (100) de alta tensión, que constan de un circuito en serie de varios conmutadores híbridos es ventajoso conectar la fuente de tensión CC (600) solo a uno de los elementos conectados en serie. De este modo puede evitarse que la fuente de tensión (600) en el lado de salida deba poder bloquearse para tensiones alta innecesariamente.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de conmutación en una red de tensión continua con

- dos conmutadores híbridos (100) conectados en serie en sentidos opuestos, que presentan en cada caso un circuito paralelo de un conmutador (12) dependiente de la dirección de corriente no controlado y de un conmutador controlable (18), en donde el punto de unión interno entre los conmutadores híbridos configura una tercera conexión y los dos conmutadores híbridos (100) conectados en serie en sentidos opuestos con una primera y una segunda conexión pueden insertarse en una primera línea de la red de tensión continua; **caracterizado por**

- dos elementos de amortiguación (200) polarizados que están configurados para la absorción de energía en solo una polaridad de la tensión de borne aplicada, en donde el primer elemento de amortiguación (200) polarizado está conectado a la primera conexión de los conmutadores híbridos conectados en serie y puede conectarse con una segunda línea de la red de tensión continua y/o un potencial de tierra y el segundo elemento de amortiguación (200) polarizado está conectado a la segunda conexión de los conmutadores híbridos (100) conectados en serie y puede conectarse con la segunda línea de la red de tensión continua y/o el potencial de tierra; y

- un generador (300) de impulsos de corriente, que está configurado para generar - en respuesta a un comando de control - un impulso de corriente unipolar que atraviesa la tercera conexión y los elementos de amortiguación (200) polarizados de modo que la dirección de corriente en uno de los conmutadores híbridos (100) no puede invertirse por poco tiempo.

2. Dispositivo según la reivindicación 1, en donde está previsto al menos un par adicional de conmutadores híbridos conectados en serie entre sí en sentidos opuestos, entre los cuales, un punto de unión está configurado como tercera conexión, y que con su primera y segunda conexión pueden conectarse a al menos una línea adicional de la red de tensión continua, en donde están previstos elementos de amortiguación (200) adicionales, y en donde el punto de unión de cada par de conmutadores híbridos conectados en serie entre sí en sentidos opuestos está unido a través de un diodo de bloqueo (2) con el generador de impulsos de corriente.

3. Dispositivo según la reivindicación 2, en donde al par adicional de conmutadores híbridos (100) está asociado un par adicional de elementos de amortiguación (200) polarizados.

4. Dispositivo según la reivindicación 1, en donde dos conmutadores híbridos (100) conectados en serie adicionales en sentidos opuestos con su primera y segunda conexión pueden insertarse en la segunda línea de la red de tensión continua, en donde el primer elemento de amortiguación polarizado está unido con la primera conexión del primer circuito en serie de conmutadores híbridos y con la primera conexión del segundo circuito en serie de conmutadores híbridos, y el segundo elemento de amortiguación polarizado está unido con la segunda conexión del primer circuito en serie de conmutadores híbridos y con la segunda conexión del segundo circuito en serie de conmutadores híbridos, y en donde la primera conexión del generador de impulsos de corriente (300) está unida con el punto de unión central del primer circuito en serie de conmutadores híbridos y la segunda conexión del generador de impulsos de corriente está unida con el punto de unión central del segundo circuito en serie de conmutadores híbridos.

5. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, en donde los elementos de amortiguación (200) polarizados y / o el generador (300) de impulsos de corriente constan de un circuito en serie en cada caso de varios de estos elementos, de modo que presentan tomas centrales de las cuales, una, varias, o todas, están unidas al potencial de tierra.

6. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, en donde están previstos otros dos conmutadores híbridos conectados en serie en sentidos opuestos y dos elementos de amortiguación polarizados adicionales y la tercera conexión de los otros dos conmutadores híbridos conectados en serie puede conectarse con la tercera conexión de los dos conmutadores híbridos conectados en serie en la primera línea, de modo que el impulso de corriente del generador de impulsos de corriente también puede alimentarse a la tercera conexión de los otros dos conmutadores híbridos conectados en serie.

7. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, en donde en paralelo a uno o varios de los conmutadores híbridos (100) está conectada en paralelo una fuente de tensión CC (600) controlable adicional cuya tensión presenta una polaridad contraria a la caída de tensión de paso natural del conmutador (12) no controlado dependiente de la dirección de corriente.

8. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el conmutador (12) no controlado dependiente de la dirección de corriente es un diodo semiconductor.

9. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el conmutador controlable (18) es un tubo de conmutación de vacío

- 5 10. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el generador de impulsos de corriente (300) contiene al menos un acumulador de energía (10) capacitivo y una inductancia (9), que pueden unirse eléctricamente entre sí a través de un conmutador (11) controlable por poco tiempo, así como una ruta de circuito para la carga del acumulador de energía (10) capacitivo desde la tensión de la red de tensión continua y para la limitación de sobretensión, que contiene al menos este acumulador de energía (10), un resistor en serie (13) y un diodo de bloqueo (2).
11. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, en donde al generador de impulsos de corriente (300) están conectados en paralelo elementos adicionales para la limitación de sobretensión o están integrados en este.
- 10 12. Dispositivo según la reivindicación 10, en donde los elementos adicionales para la limitación de sobretensión son resistores no lineales, en particular varistores.
13. Dispositivo según la reivindicación 11 o 12, en donde el nivel de tensión de la limitación de sobretensión puede adaptarse de manera sincronizada dinámicamente con la activación del impulso de corriente del generador de impulsos de corriente (300).
14. Procedimiento de conmutación en una red de tensión continua con
- 15 - dos conmutadores híbridos (100) conectados en serie en sentidos opuestos que presentan en cada caso un circuito paralelo de un conmutador (12) no controlado dependiente de la dirección de corriente y de un conmutador controlable (18), en donde el punto de unión interno entre los conmutadores híbridos configura una tercera conexión y los dos conmutadores híbridos (100) conectados en serie en sentidos opuestos pueden insertarse con una primera y una segunda conexión en una primera línea de la red de tensión continua; y
- 20 - dos elementos de amortiguación (200) polarizados que están configurados para la absorción de energía en solo una polaridad de la tensión de borne aplicada, en donde el primer elemento de amortiguación (200) polarizado está conectado a la primera conexión de los conmutadores híbridos conectados en serie y puede conectarse con una segunda línea de la red de tensión continua y/o un potencial de tierra y el segundo elemento de amortiguación polarizado (200) está conectado a la segunda conexión de los conmutadores híbridos (100)
- 25 conectados en serie y puede conectarse con la segunda línea de la red de tensión continua y/o el potencial de tierra; en donde en el procedimiento
- 30 - mediante un generador de impulsos de corriente (300) - en respuesta a un comando de control - se genera un impulso de corriente unipolar que atraviesa la tercera conexión y los elementos de amortiguación polarizados (200), de modo que la dirección de corriente se invierte por poco tiempo en uno de los conmutadores híbridos (100) de modo que el conmutador controlable del conmutador híbrido durante la inversión de corriente puede ir apagándose y así la alimentación de corriente entre una fuente y un consumidor se separa.

FIG 1 (Estado de la técnica)

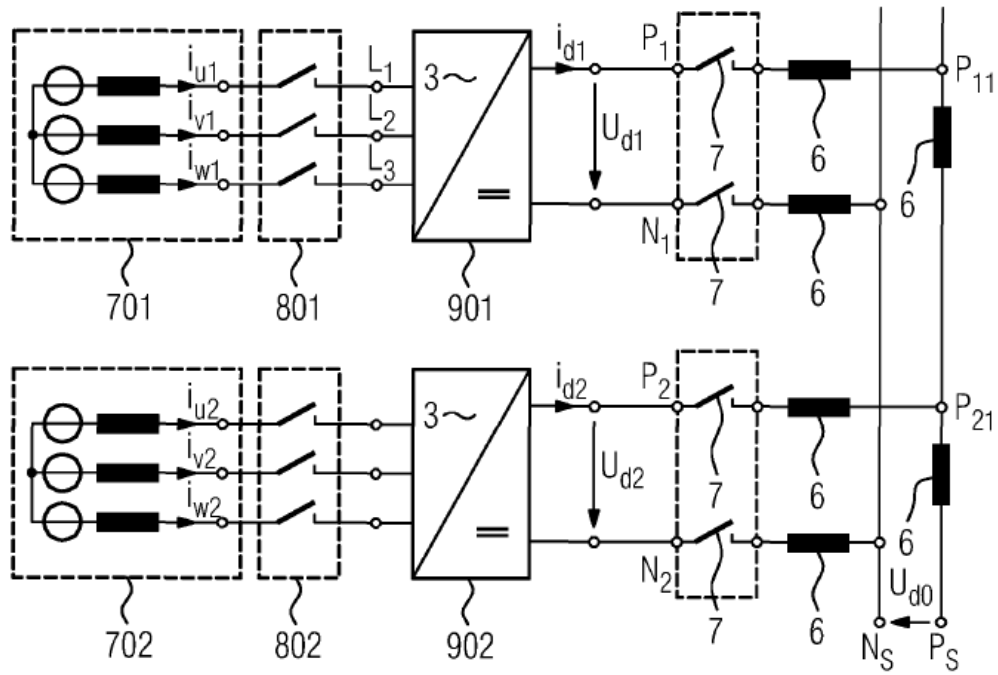


FIG 2 (Estado de la técnica)

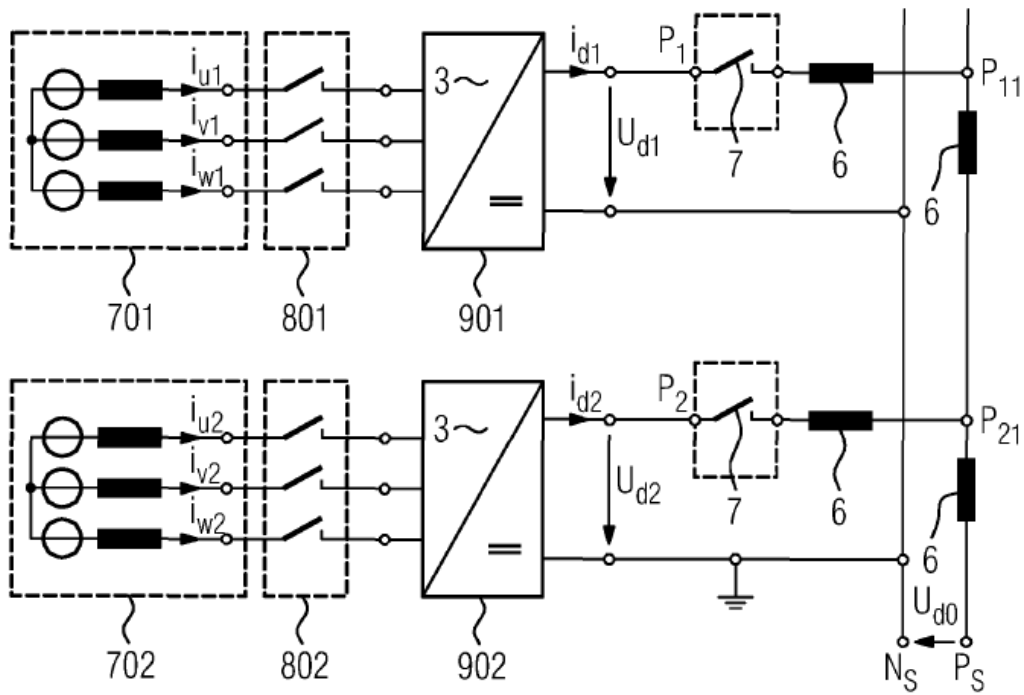


FIG 3 (Estado de la técnica)

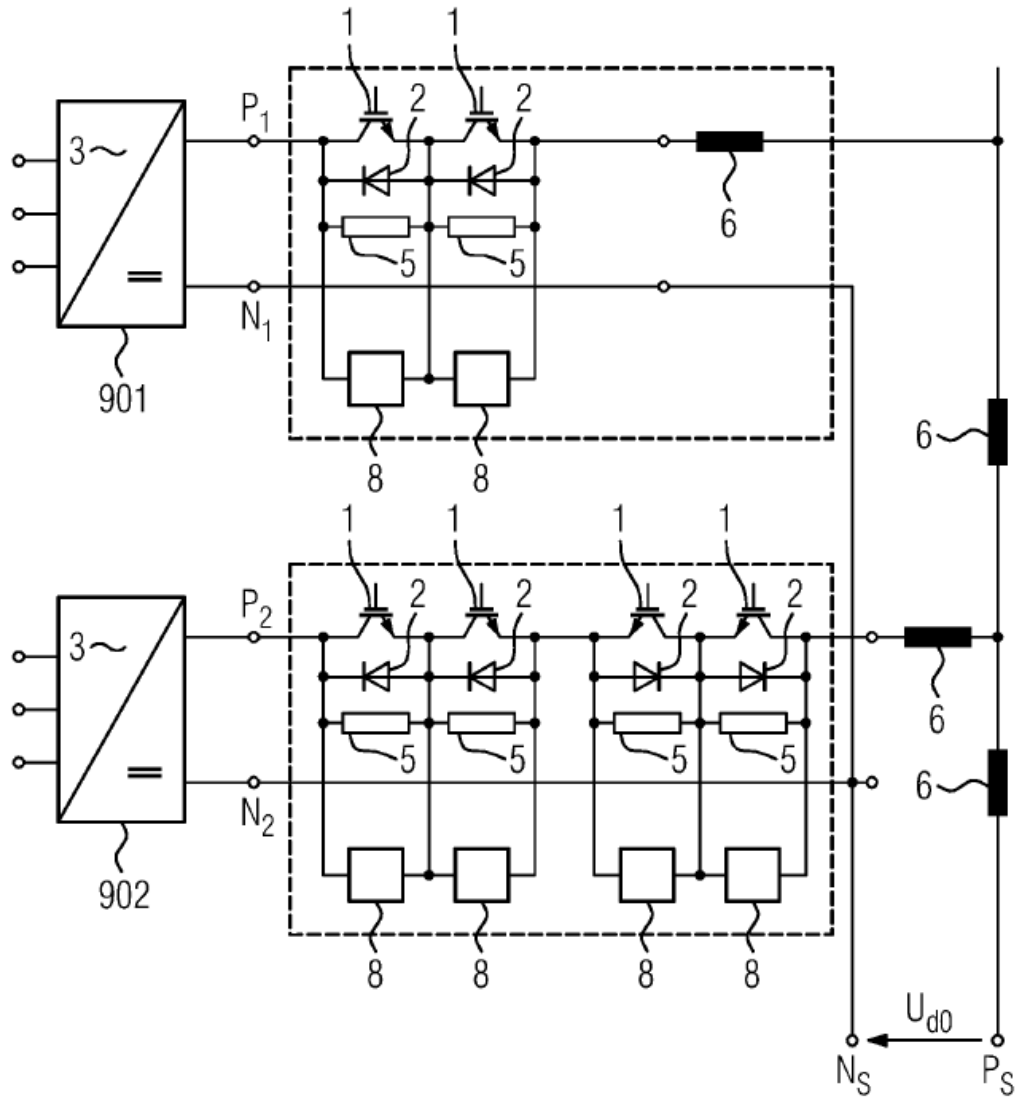


FIG 4

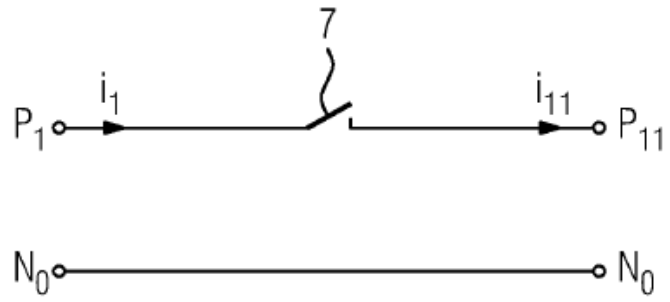


FIG 5

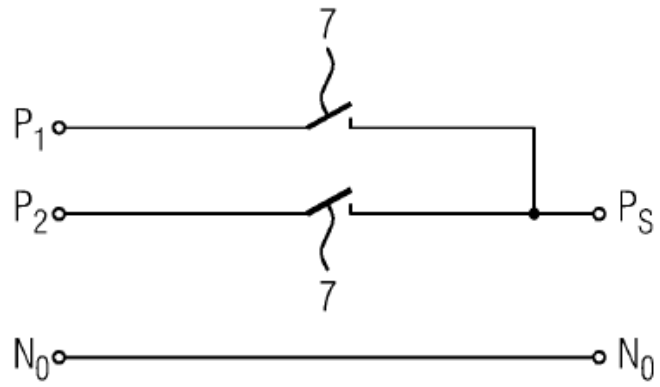


FIG 6

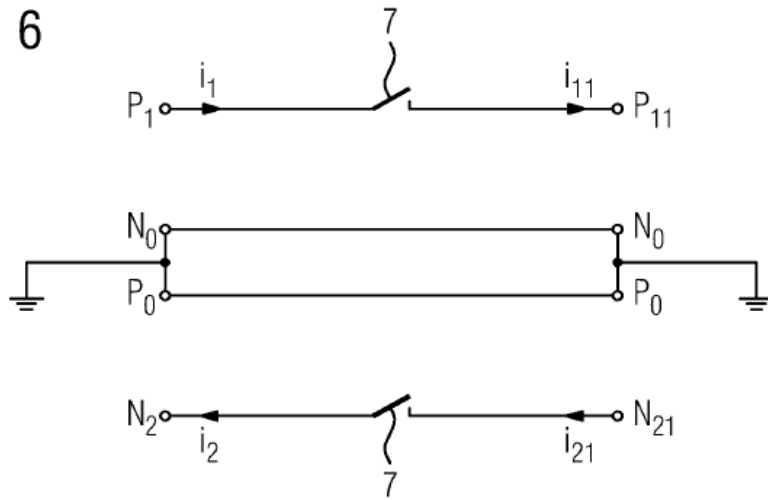


FIG 7

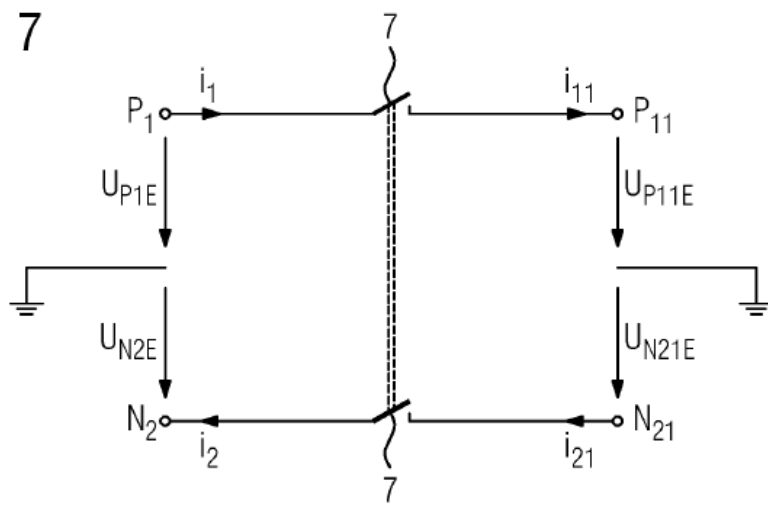




FIG 8

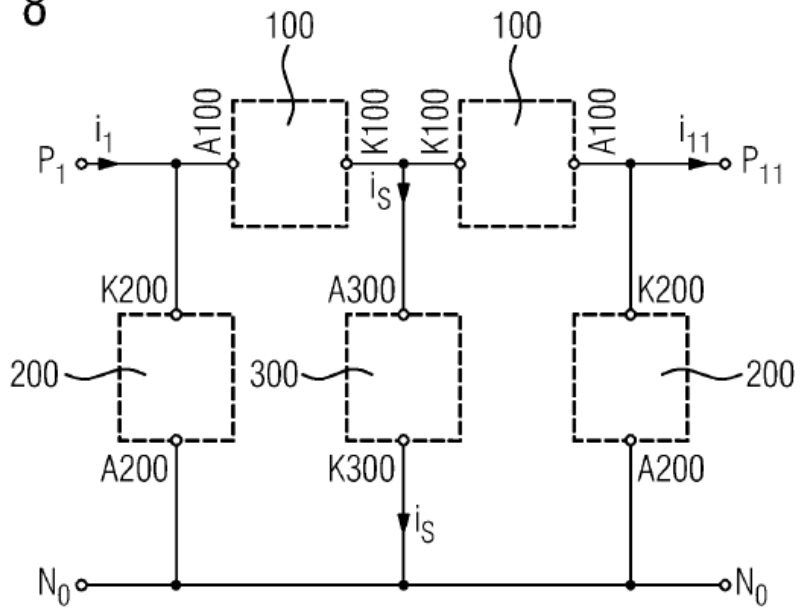


FIG 9

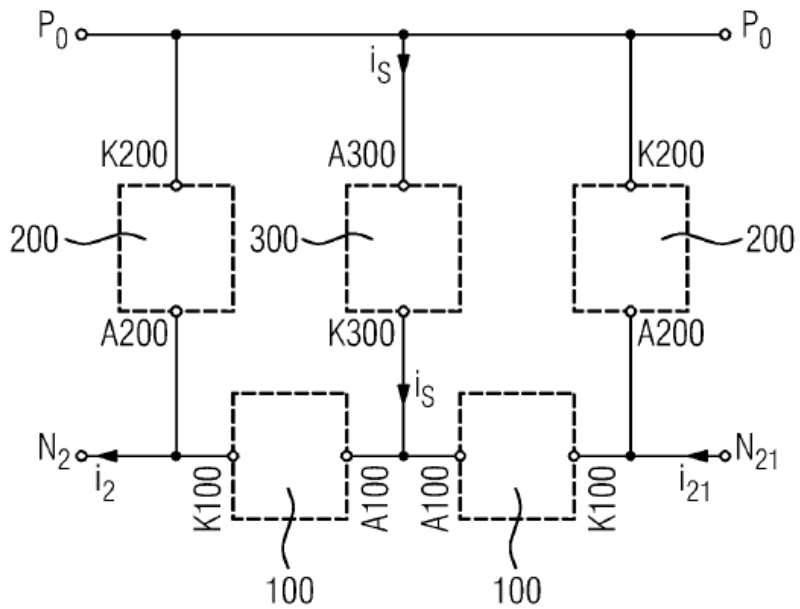


FIG 10

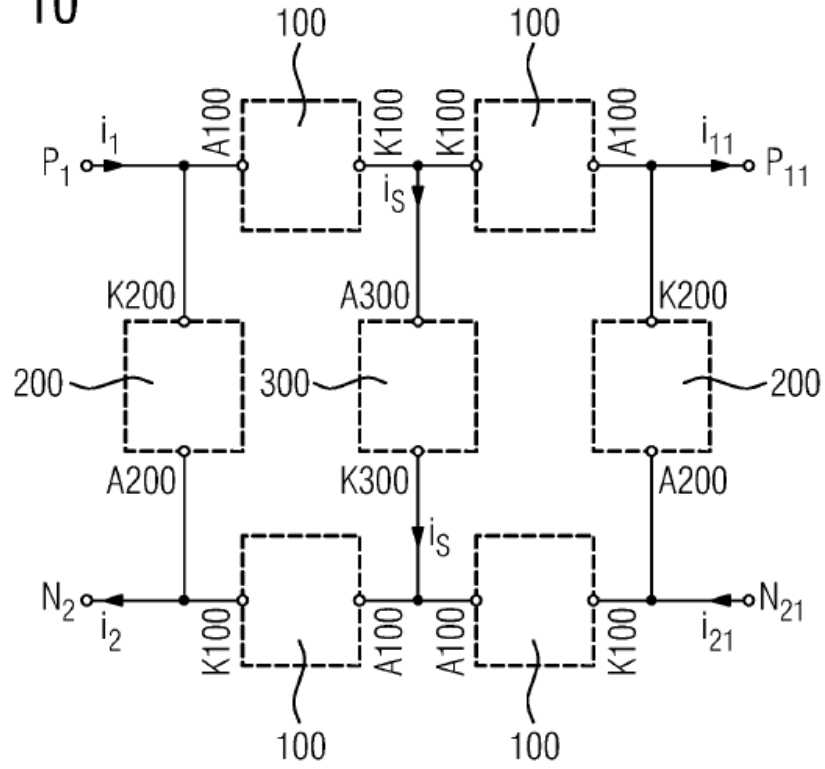


FIG 11

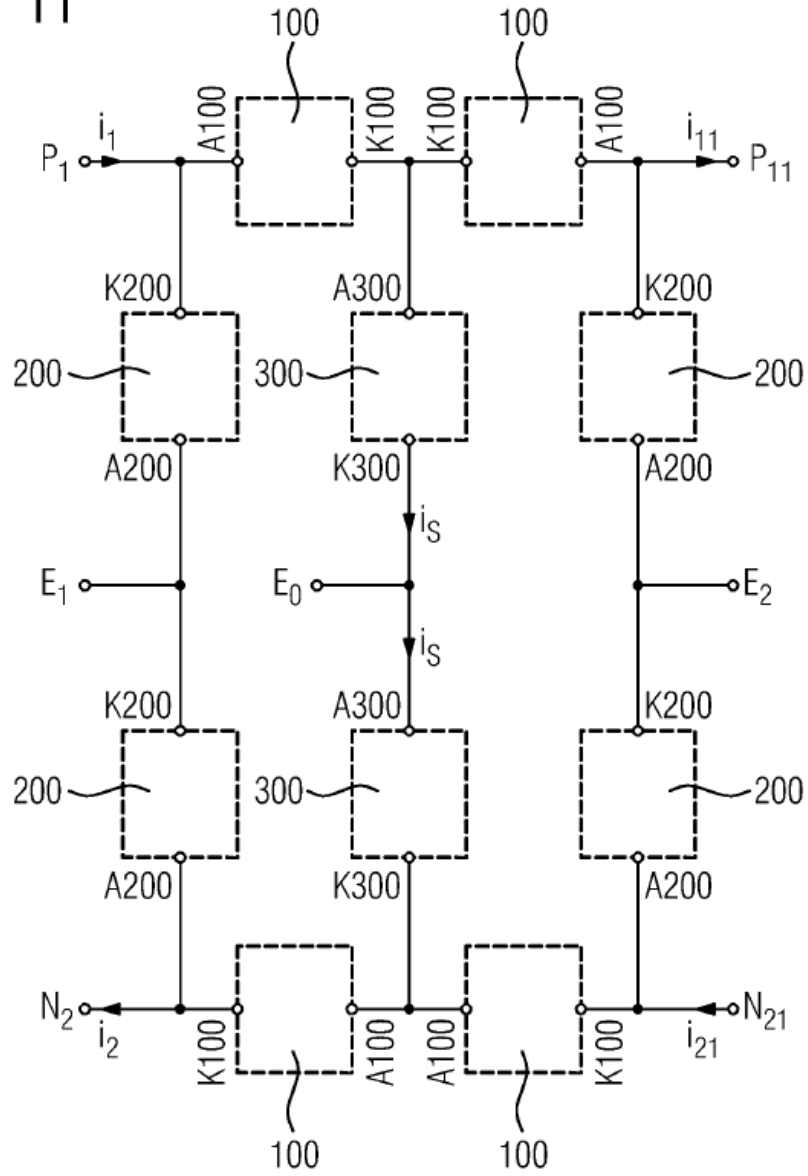


FIG 12

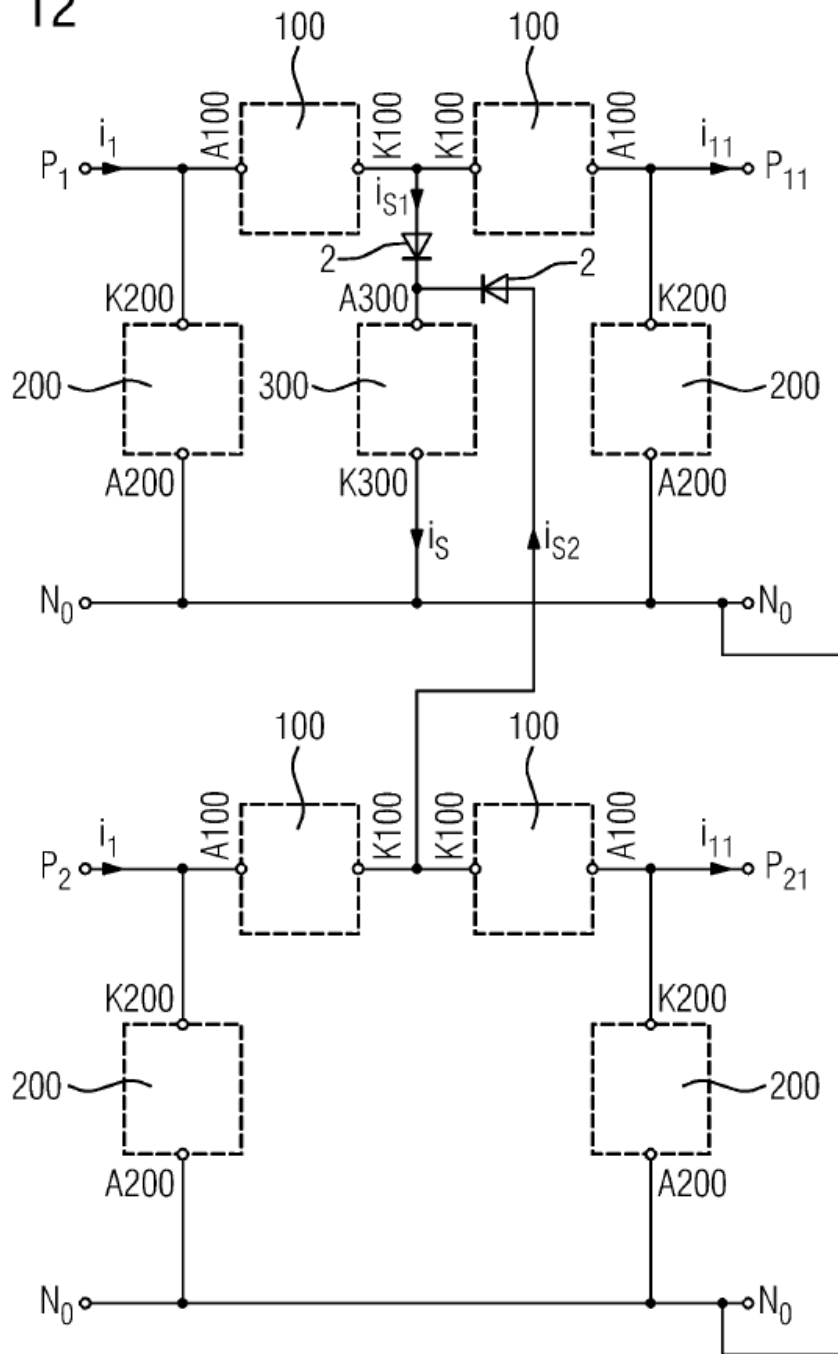


FIG 13

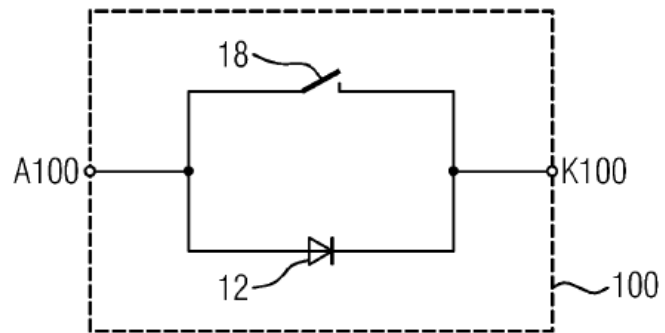


FIG 14

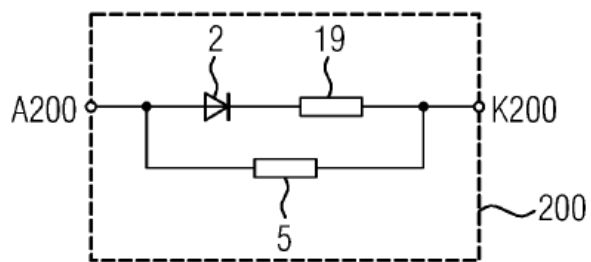


FIG 15

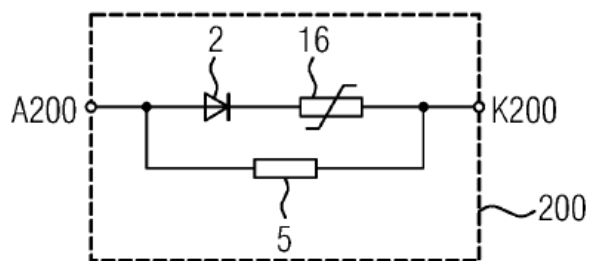


FIG 16

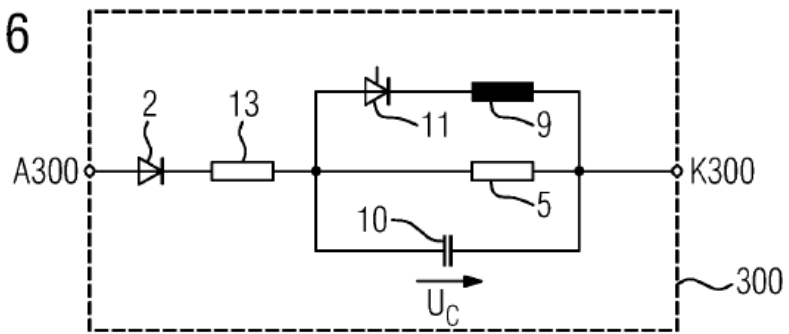


FIG 17

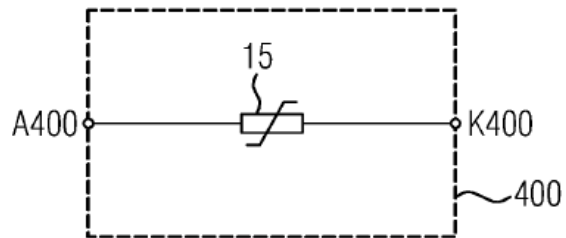


FIG 18

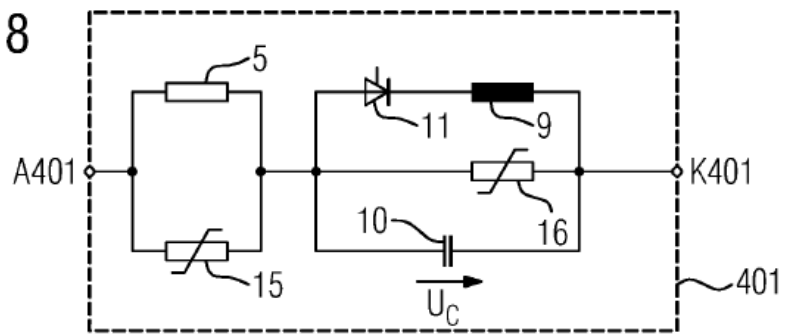


FIG 19

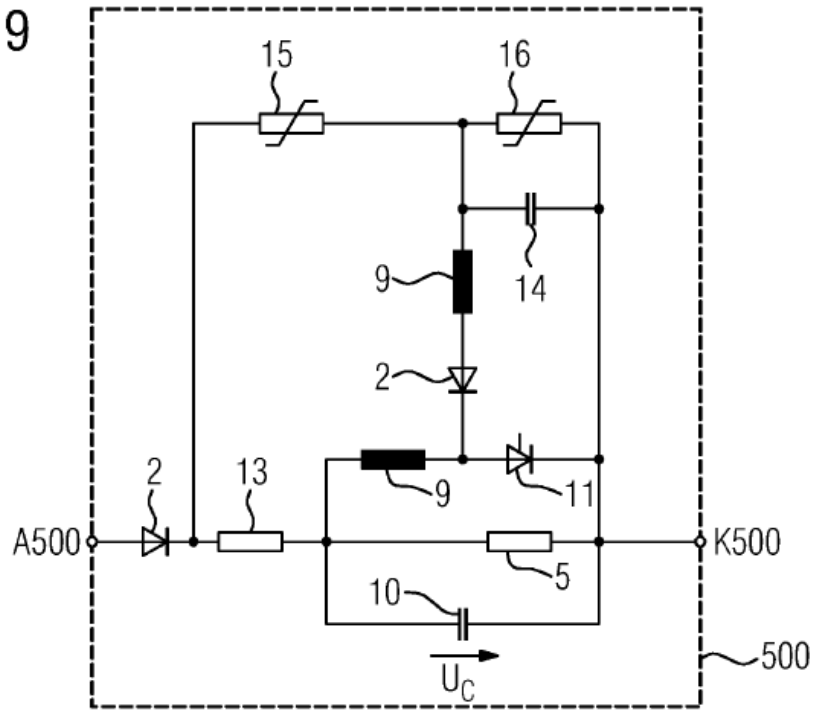


FIG 20

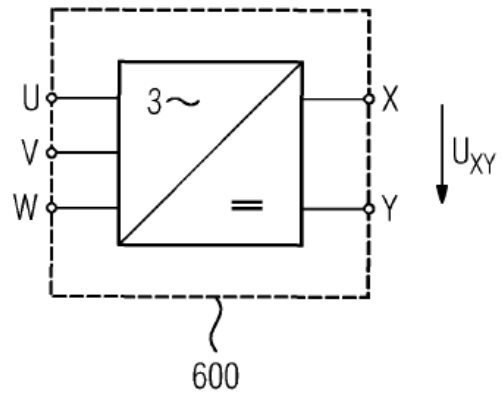


FIG 21

