

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 804 352**

51 Int. Cl.:

**H02M 7/49** (2007.01)

**H02M 7/483** (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.05.2009 PCT/EP2009/055808**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.02.2010 WO10015430**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.05.2009 E 09779470 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.04.2020 EP 2311178**

54 Título: **Procedimiento de control de redundancia de un convertidor polifásico con acumuladores de energía distribuidos**

30 Prioridad:

**07.08.2008 DE 102008036811**

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

**05.02.2021**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**HILLER, MARC y  
KRUG, DIETMAR**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 804 352 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

Procedimiento de control de redundancia de un convertidor polifásico con acumuladores de energía distribuidos

La invención se refiere a un procedimiento para controlar un convertidor con acumuladores de energía distribuidos según la reivindicación independiente 1.

5 Por el documento DE 101 03 031 A1 se conoce un convertidor con acumuladores de energía distribuidos. Un diagrama de circuito equivalente de un convertidor de este tipo se representa con más detalle en la figura 1. De acuerdo con este diagrama de circuito equivalente, este convertidor conocido, que se designa con 102, presenta tres módulos de fase, cada uno de los cuales se designa con 100. Estos módulos de fase 100 están conectados de manera eléctricamente conductora, en el lado de tensión de corriente continua, con una barra colectora de tensión de corriente continua positiva y una negativa  $P_0$  y  $N_0$ . Entre estas dos barras colectoras de tensión de corriente continua  $P_0$  y  $N_0$  estaría conectada, en el caso de un variador de frecuencia de circuito intermedio de tensión, una conexión en serie de dos condensadores C1 y C2, en los cuales cae una tensión de corriente continua  $U_d$ . Un punto de conexión entre estos dos condensadores C1 y C2, que están conectados eléctricamente en serie, constituye un centro virtual O. Cada módulo de fase 100, que forma una derivación de puente del convertidor polifásico, presenta una subderivación de puente superior y una inferior, que, dado que las subderivaciones de puente representan en cada caso una válvula de convertidor del convertidor polifásico con acumuladores de energía distribuidos, en adelante se denominan derivación de válvula T1 o T3 o T5 y T2 o T4 o T6. Cada una de estas derivaciones de válvula T1 a T6 presenta un número subsistemas bipolares 10 que están conectados eléctricamente en serie. En este diagrama de circuito equivalente del convertidor 102, cada derivación de válvula T1, ..., T6 presenta cuatro submódulos bipolares 10. Sin embargo, el número de subsistemas 10 por cada derivación de válvula T1, ..., T6 no está limitado a este número representado. Cada punto de interconexión de dos derivaciones de válvula T1 y T2 o T3 y T4 o T5 y T6 de un módulo de fase 100 forma una conexión L1 o L2 o L3 de un módulo de fase 100 en el lado de tensión de corriente alterna. Dado que en esta representación el convertidor 102 presenta tres módulos de fase 100, puede conectarse una carga trifásica, por ejemplo un motor trifásico, a sus conexiones L1, L2 y L3 en el lado de tensión de corriente alterna, que también se denominan conexiones de carga.

En la figura 2 está representado en más detalle un diagrama de circuito equivalente de una forma de realización conocida de un subsistema bipolar 10. La disposición de circuito según la figura 3 representa una variante completamente equivalente desde el punto de vista funcional. Ambas formas de realización de un subsistema bipolar 10 se conocen por el documento DE 101 03 031 A1. Estos subsistemas bipolares 10 conocidos presentan en cada caso dos interruptores de semiconductores 1 y 3 que pueden desconectarse, en cada caso dos diodos 2 y 4 y en cada caso un condensador acumulador unipolar 9. Los dos interruptores de semiconductores 1 y 3 que pueden desconectarse están conectados eléctricamente en serie, estando este circuito en serie conectado eléctricamente en paralelo al condensador acumulador 9. Cada uno de los interruptores de semiconductores 1 y 3 que pueden desconectarse está conectado eléctricamente en paralelo a uno de los dos diodos 2 y 4 de tal manera que está conectado en antiparalelo al correspondiente interruptor de semiconductor 1 o 3 que puede desconectarse. El condensador acumulador unipolar 9 del subsistema 10 se compone o bien de un condensador o bien de una batería de condensadores que presenta varios de estos condensadores. El punto de conexión entre el emisor del interruptor de semiconductor 1 que puede desconectarse y el ánodo del diodo 2 forma un borne de conexión X1 del subsistema 10. El punto de conexión de los dos interruptores de semiconductores 1 y 3 que pueden desconectarse y los dos diodos 2 y 4 constituye un segundo borne de conexión X2 del subsistema 10.

En la forma de realización del subsistema bipolar 10 de acuerdo con la figura 3, este punto de conexión constituye el primer borne de conexión X1. El punto de conexión entre el colector del interruptor de semiconductor 1 que puede desconectarse y el cátodo del diodo 2 constituye el segundo borne de conexión X2 del subsistema 10.

En ambas formas de realización del subsistema bipolar 10 de acuerdo con las figuras 2 y 3, los interruptores de semiconductores 1 y 3 que pueden desconectarse se usan como transistores bipolares de puerta aislada (IGBT, *Insulated Gate Bipolar Transistor*). También pueden usarse transistores MOS de efecto de campo, también denominados MOSFET (*MOS Field-Effect Transistor*). Pueden usarse asimismo tiristores desactivados por puerta, también conocidos como tiristores GTO (*Gate Turn-Off*), o tiristores conmutados por puerta integrada (IGCT, *Integrated Gate Commutated Thyristor*).

50 De acuerdo con el documento DE 101 03 031 A1, los subsistemas bipolares 10 de cada módulo de fase 100 del convertidor 102 según la figura 1 pueden controlarse en un estado de conmutación I, II y III. En el estado de conmutación I, el interruptor de semiconductor 1 que puede desconectarse está encendido y el interruptor de semiconductor 3 que puede desconectarse está apagado. Como resultado, una tensión de borne  $U_{X21}$  presente en los bornes de conexión X1 y X2 del subsistema bipolar 10 es igual a cero. En el estado de conmutación II, el interruptor de semiconductor 1 que puede desconectarse está apagado y el interruptor de semiconductor 3 que puede desconectarse está encendido. En este estado de conmutación II, la tensión de borne  $U_{X21}$  presente es igual a la tensión de condensador  $U_c$  presente en el condensador acumulador 9. En el estado de conmutación III, ambos interruptores de semiconductores 1 y 3 que pueden desconectarse están apagados y la tensión de condensador  $U_c$

presente en el condensador acumulador 9 es constante.

Para que este convertidor 102 pueda funcionar de forma redundante con acumuladores de energía 9 distribuidos de acuerdo con la figura 1, debe garantizarse que un subsistema 10 que presente fallos esté permanentemente en cortocircuito en sus bornes X1 y X2. Esto significa que la tensión de borne  $U_{X21}$  del subsistema 10 defectuoso es

5 cero independientemente de la dirección de la corriente a través de los bornes X1 y X2.

La avería de uno de los interruptores de semiconductores 1 y 3 que pueden desconectarse presentes en el subsistema 10 o de un circuito de control asociado hace que este subsistema 10 no funcione correctamente. Otras posibles causas de mal funcionamiento son, entre otras, errores en el circuito de control asociado del interruptor de semiconductor, su fuente de alimentación, comunicación y registro de valores de medición. Esto significa que el

10 subsistema bipolar 10 ya no se puede controlar como se desea en uno de los posibles estados de conmutación I, II o III. Debido al cortocircuito del subsistema 10 en sus conexiones X1 y X2, este subsistema 10 ya no recibe energía. Como resultado, se descartan de forma segura daños consecuentes tales como sobrecalentamiento e incendio en caso de que el convertidor 102 continúe funcionando.

Una conexión conductora a modo de cortocircuito de este tipo entre los bornes de conexión X1 y X2 de un

15 subsistema bipolar 10 defectuoso debe guiar de forma segura y sin sobrecalentamiento al menos la corriente de funcionamiento de una derivación de válvula T1, ..., T6 del módulo de fase 100 en el que está conectado el subsistema bipolar 10 defectuoso. El documento DE 10 2005 040 543 A1 especifica cómo un subsistema 10 defectuoso puede ponerse en cortocircuito de forma segura para que este convertidor 102 conocido con acumuladores de energía 9 distribuidos pueda continuar funcionando de forma redundante.

20 Por el documento US 2006/0279249 A1 se conoce otro procedimiento para controlar un subsistema defectuoso en un convertidor polifásico.

Para la siguiente explicación, se supone que los condensadores acumuladores 9 de todos los subsistemas bipolares 10 presentan en cada caso la misma tensión  $U_C$ . Se conocen también procedimientos para el establecimiento inicial de este estado y su mantenimiento durante el funcionamiento por el documento DE 101 03 031 A1. En la figura 4, en un diagrama a lo largo del tiempo  $t$ , se muestra una evolución de la diferencia de potencial  $U_{PL}$  del borne P de un

25 módulo de fase 100 con respecto a una conexión de carga L. En la figura 5, en un diagrama a lo largo del tiempo  $t$ , se ilustra una evolución de la diferencia de potencial  $U_{LN}$  de la conexión de carga L con respecto al potencial del borne N. De acuerdo con estas evoluciones de potencial  $U_{PL}$  y  $U_{LN}$ , en los instantes  $t_1, \dots, t_8$ , de los ocho subsistemas bipolares 10 de las derivaciones de válvula T1 y T2 se conecta o desconecta en cada caso un

30 subsistema 10. Un encendido corresponde, en este sentido, a una transición del estado de conmutación I al estado de conmutación II. Una desconexión corresponde a una transición del estado de conmutación II al estado de conmutación I. En cada uno de estos dos diagramas está representado un período  $T_P$  de una oscilación fundamental de la evolución de potencial  $U_{L0}$  (figura 6) de la conexión de carga L con respecto a un centro virtual O de un módulo de fase 100 del convertidor 102 con acumuladores de energía 9 distribuidos de las evoluciones de potencial  $U_{PL}$  y

35  $U_{LN}$ .

La figura 6 muestra una evolución de una diferencia de las evoluciones de potencial  $U_{LN}$  y  $U_{PL}$  de acuerdo con las figuras 4 y 5 en un diagrama a lo largo del tiempo  $t$ . Esta evolución de potencial resultante  $U_{L0}$  se sitúa entre una conexión L1 o L2 o L3 en el lado de la tensión de corriente alterna de un módulo de fase 100 del convertidor 102 con acumuladores de energía 9 distribuidos según la figura 1 y un centro virtual O formado, en el caso de un circuito

40 intermedio de tensión con dos condensadores C1 y C2, por el punto de conexión de estos dos condensadores C1 y C2. Proporciones correspondientes de armónicos o componentes de tensión de corriente continua en cada caso en las tensiones de salida  $U_{LX0}$  de los módulos de fase 100 del convertidor polifásico 102 con acumuladores de energía 9 distribuidos según la figura 1 se eliminan, en el caso de un sistema de tensión trifásica simétrico, en las tensiones diferenciales de en cada caso dos tensiones de salida  $U_{L10}$ ,  $U_{L20}$  o  $U_{L30}$  desplazadas en fase. De estas dos evoluciones de potencial  $U_{PL}$  y  $U_{LN}$  se puede deducir también que la suma de los potenciales en cualquier instante es  $4 \cdot U_C$ . Es decir, el valor de la tensión de corriente continua  $U_d$  entre las barras colectoras de tensión de corriente

45 continua  $P_0$  y  $N_0$  corresponde siempre a un número constante de subsistemas 10 en el estado de conmutación II multiplicado por el valor de la tensión de condensador  $U_C$  presente en el condensador 9. En el caso representado a modo de ejemplo, este número corresponde al número de subsistemas bipolares 10 del convertidor 102 según la

50 figura 1 presente en las derivaciones de válvula T1, ..., T6.

En la figura 7 se muestran juntas las tensiones de salida  $U_{L10}$ ,  $U_{L20}$  y  $U_{L30}$  del convertidor 102 con acumuladores de energía 9 distribuidos y las tensiones  $U_{L12}$ ,  $U_{L23}$  y  $U_{L32}$  entre fases asociadas. En este caso no defectuoso, las tensiones de salida  $U_{L10}$ ,  $U_{L20}$  y  $U_{L30}$  y sus tensiones  $U_{L12}$ ,  $U_{L23}$  y  $U_{L32}$  entre fases forman un sistema de tensión trifásica simétrico. Es decir, el desplazamiento de fase de las tensiones de salida  $U_{L10}$ ,  $U_{L20}$  y  $U_{L30}$  y sus tensiones

55  $U_{L12}$ ,  $U_{L23}$  y  $U_{L32}$  entre fases de los tres módulos de fase 100 del convertidor 102 con acumuladores de energía 9 distribuidos es de  $120^\circ$  entre sí.

Por el documento DE 10 2005 045 091 A1 se conoce un procedimiento para controlar un convertidor con acumuladores de energía distribuidos de acuerdo con la figura 1, con el que, en caso de un mal funcionamiento, se mantienen las condiciones de simetría de al menos un subsistema de un módulo de fase de este convertidor. De acuerdo con este procedimiento conocido, en primer lugar se determina una derivación de válvula de una de las tres fases al fallar uno o más subsistemas bipolares. Cada subsistema defectuoso se controla de tal manera que la tensión de borne sea siempre cero. En otra derivación de válvula del módulo de fase defectuoso, de manera correspondiente al número de subsistemas bipolares determinados se controla un número correspondiente de subsistemas de tal manera que la tensión de borne sea en cada caso igual a una tensión de condensador. Este control de subsistemas en el módulo de fase defectuoso también se lleva a cabo en el caso de subsistemas de las derivaciones de válvula de los módulos de fase no defectuosos.

En la figura 8, en un diagrama a lo largo del tiempo  $t$ , se muestra la evolución de una diferencia de potencial  $U_{PL1}$  del borne P de un módulo de fase 100 con respecto a una conexión de carga L1, en donde en la derivación de válvula inferior T2 de un módulo de fase 100 está defectuoso un subsistema bipolar 10. En la figura 9, en un diagrama a lo largo del tiempo  $t$ , se muestra la evolución de una diferencia de potencial  $U_{L1N}$  del borne L1 con respecto al potencial del borne N. De la evolución de la diferencia potencial  $U_{PL1}$  de acuerdo con la figura 8 se deduce que un subsistema 10 de la derivación de válvula superior T1 del módulo de fase 100 se controla de tal manera que su tensión de borne  $U_{X21}$  siempre sea igual que la tensión de condensador  $U_C$  presente en el condensador acumulador 9. Como resultado, de los cuatro subsistemas 10 de la derivación de válvula superior T1 representados a modo de ejemplo, solo quedan tres subsistemas 10 que puedan conectarse y desconectarse. De la evolución temporal de la diferencia potencial  $U_{L1N}$  de la derivación de válvula inferior T2 del módulo de fase 100 puede deducirse que uno de los cuatro subsistemas 10 representados a modo de ejemplo está controlado de tal manera que sus tensiones de borne  $U_{X21}$  sean siempre igual a cero. De acuerdo con la figura 1, de estas derivaciones de válvula inferiores T2, T4 y T6 de los tres módulos de fase 100, la derivación de válvula T2 presenta un subsistema bipolar 10 defectuoso, identificado mediante un sombreado. Debido a ello, el valor de la amplitud de la tensión  $U_{L1N}$  de la derivación de válvula T2 solo puede ser todavía como máximo de  $3 \cdot U_C$ . Mediante este procedimiento conocido, el número de subsistemas 10 usados en el caso defectuoso es igual al número de subsistemas 10 usados en el caso no defectuoso. La evolución de la amplitud de la suma de las diferencias de potencial  $U_{PL1}$  y  $U_{L1N}$  se ilustra en el diagrama de la figura 9 por medio de una línea discontinua. En comparación con un caso no defectuoso, las tensiones  $U_{L10}$ ,  $U_{L20}$  y  $U_{L30}$  en el caso defectuoso presentan en cada caso una amplitud máxima más baja. En el ejemplo representado, estas tensiones  $U_{L10}$ ,  $U_{L20}$  y  $U_{L30}$  presentan, en el caso no defectuoso, una amplitud de tensión máxima de en cada caso  $1/2 \cdot U_d$ , mientras que en el caso defectuoso una amplitud máxima es solo  $3/8 \cdot U_d$ . Esto significa que, por medio de este procedimiento conocido, en el caso defectuoso se obtiene un sistema de tensión trifásico simétrico con una amplitud máxima inferior.

En la figura 10 está representada a lo largo del tiempo  $t$  una evolución de la diferencia de las diferencias de potencial  $U_{PL1}$  y  $U_{L1N}$  de acuerdo con las figuras 8 y 9. De esta evolución temporal del potencial  $U_{L10}$  de la conexión de carga L1 en relación con un centro virtual O puede deducirse que este ya no oscila simétricamente alrededor de una posición cero. Esta posición cero está desplazada en  $1/8 \cdot U_d$ . Esto significa que esta evolución del potencial presenta una proporción de tensión de corriente continua.

En la figura 11 se muestra un diagrama vectorial de un sistema de tensión trifásico del convertidor 102 según la figura 1 cuando aparece un subsistema 10 defectuoso. De este sistema de tensión puede deducirse que las tensiones de salida  $U_{L20}$  y  $U_{L30}$  no han cambiado en amplitud en comparación con el sistema de tensión de acuerdo con la figura 7. Dado que en la derivación de válvula T2 se ha averiado un subsistema 10 (sombreado), el valor de la amplitud de la tensión de salida  $U_{L10}$  de este módulo de fase 100 defectuoso se reduce en el valor de una tensión de condensador  $U_C$ . Como resultado, los valores de las tensiones  $U_{L12}$ ,  $U_{L23}$  y  $U_{L31}$  entre fases ya no son iguales. Los dos tensiones  $U_{L12}$  y  $U_{L31}$  entre fases son iguales en amplitud, pero inferiores en comparación con la tensión  $U_{L23}$  entre fases. Debido a la avería de al menos un subsistema 10 de una derivación de válvula T1, ..., T6, a partir de un sistema de tensión simétrico de tensiones  $U_{L12}$ ,  $U_{L23}$ ,  $U_{L31}$  entre fases se obtiene un sistema de tensión asimétrico. La asimetría que ocurre depende del número de subsistemas 10 averiados y del número de derivaciones de válvulas T1, ..., T6 afectadas.

La invención se basa, ahora, en el objetivo de indicar un procedimiento para controlar un convertidor trifásico con acumuladores de energía distribuidos, con el cual se pueda generar un sistema de tensión trifásico simétrico en caso de avería de al menos un acumulador de energía.

De acuerdo con el procedimiento de acuerdo con la invención, en primer lugar se determina el número de subsistemas averiados y, por lo tanto, las derivaciones de válvula defectuosas de los módulos de fase del convertidor con acumuladores de energía distribuidos. A continuación, los subsistemas defectuosos y los subsistemas de derivaciones de válvula no defectuosas de módulos de fase defectuosos se controlan de tal manera que sus tensiones de borne sean igual a cero. Como resultado, todos los subsistemas defectuosos y subsistemas en las derivaciones de válvulas no defectuosas de módulos de fase defectuosos se ponen en cortocircuito de manera correspondiente al número de subsistemas defectuosos. Como resultado, el tensión de salida de un módulo de fase defectuoso presenta una amplitud reducida que discurre simétricamente a una posición cero. Esto significa que esta

tensión de salida no tiene tensión de corriente continua. Debido a la avería de al menos un subsistema en una derivación de válvula de un módulo de fase, a partir de un sistema de tensión trifásico simétrico presente en los terminales de salida del convertidor con acumuladores de energía distribuidos se obtiene un sistema de tensión asimétrico.

5 La idea básica en la que se basa esta invención es que la tensión de salida de un módulo de fase defectuoso, que se ha reducido debido a la avería de al menos un subsistema, debe devolverse a su valor de amplitud previo. Esto haría que el sistema de tensión asimétrico se volviera simétrico nuevamente, con las amplitudes de este sistema de tensión simétrico, al mismo tiempo, máximas.

10 A este respecto, se plantea la cuestión de cómo se puede generar con un número reducido de subsistemas una amplitud que se corresponda con una amplitud de una tensión de salida de un módulo de fase en funcionamiento no defectuoso. La solución consiste en que los acumuladores de energía de los subsistemas restantes de las derivaciones de válvula de un módulo de fase defectuoso se cargan más de tal manera que la suma de las tensiones de condensador aumentadas de los subsistemas de una derivación de válvula de un módulo de fase defectuoso sea igual a la suma de las tensiones de condensador de los subsistemas de una derivación de válvula de un módulo de fase no defectuoso. Cuanto mayor sea el número de subsistemas por cada derivación de válvula, menor será el aumento en cada tensión de condensador de los subsistemas restantes de una derivación de válvula de un módulo de fase defectuoso en caso de avería de un subsistema.

20 En un procedimiento ventajoso, los subsistemas restantes de un módulo de fase defectuoso se conectan sucesivamente de manera eléctricamente conductora con una fuente de energía que proporciona al menos la tensión del condensador aumentada, durante un período de tiempo predeterminado. Durante este período de tiempo, una corriente fluye desde la fuente de energía hacia el subsistema conectado, por lo que su acumulador de energía se recarga. Si una tensión de condensador presente en el acumulador de energía alcanza un valor predeterminado, este subsistema se separa de la fuente de energía, que se enlaza con el siguiente subsistema de un módulo de fase defectuoso. Dado que una fuente de tensión de este tipo para precargar los acumuladores de energía de los subsistemas del convertidor con acumuladores de energía distribuidos ya está presente en un convertidor de este tipo, ni siquiera es necesario ampliar el hardware de un convertidor existente.

25 En otro procedimiento ventajoso, se ajusta una corriente de derivación de válvula adicional, que fluye sucesivamente a través de los subsistemas restantes de un módulo de fase defectuoso durante un período de tiempo predeterminado. De este modo también se aumentan las tensiones de condensador de los subsistemas restantes de un módulo de fase defectuoso.

30 De las reivindicaciones dependientes 4 a 6 puede deducirse cómo se genera tal corriente de derivación de válvula adicional. Por el documento DE 10 2005 045 090 B4 se conoce el procedimiento para generar corrientes de derivación de válvula adicionales por medio de áreas tensión-tiempo adicionales.

35 El procedimiento de acuerdo con la invención se divide, por tanto, en tres secciones, a saber, la determinación de subsistemas averiados y su puesta en cortocircuito, poniéndose también en cortocircuito subsistemas, de manera correspondiente al número de subsistemas averiados de una derivación de válvula, de una derivación de válvula de un módulo de fase defectuoso, que se corresponde con la derivación de válvula defectuosa. Como resultado, la tensión de salida del módulo de fase defectuoso se reduce de manera correspondiente al número de subsistemas defectuosos, pero está libre de una proporción de tensión de corriente continua. En la segunda sección, las tensiones de condensador de los subsistemas restantes de un módulo de fase defectuoso se aumentan de tal manera que la suma de estas tensiones de condensador sea igual a la suma de las tensiones de condensador de un módulo de fase no defectuoso. Una tercera sección del procedimiento de acuerdo con la invención se ocupa del control de los subsistemas de los módulos de fase no defectuosos. Este control no difiere del control de los subsistemas del convertidor con acumuladores de energía distribuidos que no presentan un mal funcionamiento.

45 Para explicar mejor la invención, se hace referencia al dibujo, en el que se ilustra esquemáticamente una forma de realización de un procedimiento de acuerdo con la invención para controlar un convertidor trifásico con acumuladores de energía distribuidos.

La Fig. 1 muestra un diagrama de circuito equivalente de un convertidor conocido con acumuladores de energía distribuidos, en la  
 50 Fig. 2 se muestra un diagrama de circuito equivalente de una primera forma de realización de un subsistema bipolar conocido del convertidor según la figura 1, la  
 Fig. 3 muestra un diagrama de circuito equivalente de una segunda forma de realización de un subsistema bipolar conocido del convertidor según la figura 1, en las  
 Fig. 4 a 6 se muestran evoluciones de potencial de un módulo de fase de un convertidor según la figura 1 en el caso no defectuoso en cada caso en un diagrama a lo largo del tiempo  $t$ , en la  
 55 Fig. 7 se muestra un diagrama vectorial de un sistema de tensión trifásico simétrico del convertidor según

- Fig. 8 a 10 la figura 1 en el caso no defectuoso, en las se muestran evoluciones de potencial de un módulo de fase de un convertidor según la figura 1 en el caso defectuoso en cada caso en un diagrama a lo largo del tiempo t, en la
- Fig. 11 se muestra un diagrama vectorial de un sistema de tensión trifásico asimétrico del convertidor de acuerdo con la figura 1 en el caso defectuoso, la
- Fig. 12 muestra un diagrama de bloques de un control de acuerdo con la invención de un convertidor según la figura 1 y en las
- Fig. 13 a 15 se muestran evoluciones de potencial de un módulo de fase defectuoso del convertidor según la figura 1 en un diagrama a lo largo del tiempo t, que se han generado por medio del procedimiento de acuerdo con la invención.

La figura 12 muestra un diagrama de bloques de un control de un convertidor 102 con acumuladores de energía 9 distribuidos de acuerdo con la figura 1. En este diagrama de bloques, con 104 se designa un dispositivo para generar señales de control  $S_v$ , con 106 un dispositivo para determinar subsistemas 10 defectuosos, con 108 un dispositivo acumulador y con 110 una fuente de energía conmutable de baja tensión. En el lado de salida, el dispositivo 104 está conectado de manera eléctricamente conductora con conexiones de control de los interruptores de semiconductores 1 y 3 de los subsistemas bipolares 10 de las derivaciones de válvula T1 a T6 del convertidor 102. Las tensiones de salida  $U_{L10}$ ,  $U_{L20}$  y  $U_{L30}$  presentes en las conexiones L1, L2 y L3 en el lado de la tensión de corriente alterna, también conocidas como bornes de salida del convertidor 102, son alimentadas al dispositivo 106 para determinar subsistemas bipolares 10 defectuosos. En el lado de salida, este dispositivo 106 está interconectado, por un lado, con una entrada del dispositivo 104 para generar señales de control  $S_v$  y, por otro lado, con una entrada de la unidad acumuladora 108. En el lado de salida, este dispositivo acumulador 108 está conectado a una fuente de energía 110 conmutable. Al dispositivo 104 para generar señales de control  $S_v$  se alimentan las tensiones de salida  $U_{L10}$ ,  $U_{L20}$  y  $U_{L30}$  determinadas y una tensión teórica  $U_L^*$ .

Existe una posibilidad adicional de determinar subsistemas 10 defectuosos en las derivaciones de válvula T1, T2 o T3, T4 o T5, T6 de cada módulo de fase 100 del convertidor 102 con acumuladores de energía 9 distribuidos. Para ello se usa un dispositivo 112 que está interconectado en el lado de entrada con cada subsistema bipolar 10 del convertidor 102. Cada subsistema 10 envía a este dispositivo 112 una señal de retroalimentación  $S_R$ , que indica si el subsistema 10 asociado ha cambiado su estado de conmutación correctamente o no. De estas  $\mu=6m$  señales de retroalimentación  $S_R$  se genera una señal de error  $S_F$  que se alimenta al dispositivo 104. Dado que se trata de una posibilidad adicional para determinar subsistemas bipolares 10 defectuosos, esto está representado en el control de acuerdo con la figura 12 por medio de una línea discontinua.

Como ya se mencionó, una tensión de salida  $U_{L10}$  o  $U_{L20}$  o  $U_{L30}$  del convertidor 102 con acumuladores de energía 9 distribuidos de acuerdo con la figura 1 disminuye tan pronto como un subsistema bipolar 10 falla en una derivación de válvula T1, ..., T6 de uno de los tres módulos de fase 100 del convertidor 102. El valor de la reducción de amplitud corresponde, a este respecto, al valor de una tensión de condensador  $U_C$  presente en el acumulador de energía 9.

Ahora se supone que un subsistema bipolar 10 de la derivación de válvula T2 del módulo de fase 100 del convertidor 102 con acumuladores de energía 9 distribuidos de acuerdo con la figura 1 está puesto en cortocircuito de forma segura a causa de algún defecto. Este subsistema 10 defectuoso se identifica en el diagrama de circuito equivalente del convertidor 102 de acuerdo con la figura 1 por medio de un sombreado.

De acuerdo con el procedimiento de acuerdo con la invención, en primer lugar se determina el número de subsistemas 10 defectuosos. Como se supone que solo hay un subsistema 10 defectuoso, se determina el número "1". Además, se determina la derivación de válvula T1, ..., T6 en la que está dispuesto el subsistema 10 defectuoso. En el caso supuesto, se trata de la derivación de la válvula T2. El subsistema 10 defectuoso de la derivación de válvula T2 y un subsistema 10 de la derivación de válvula T1 no defectuosa del módulo de fase 100 defectuoso, que se corresponde con la derivación de válvula T2 defectuosa, se controlan de tal manera que sus tensiones de borne  $U_{X21}$  sean cero en cada caso. Si hay defectuosos varios subsistemas 10 de una derivación de válvula T1, ..., T6 o varias derivaciones de válvula T1, ..., T6, entonces se controlan de manera correspondiente al número de subsistemas 10 defectuosos en las derivaciones de válvula T1, ..., T6 de módulos de fase 100 defectuosos que se corresponden con las derivaciones de válvula T1, ..., T6 defectuosas, de tal manera que las tensiones de borne  $U_{X21}$  de estos subsistemas 10 son en cada caso cero. Esto significa que se ponen en cortocircuito  $2n$  subsistemas 10 con  $n$  = número de subsistemas 10 defectuosos.

Con el número de subsistemas 10 defectuosos y conociendo las derivaciones de válvula defectuosas, es posible determinar la caída de tensión en cada caso en una salida  $U_{L1}$ , L2 o L3 de los módulos de fase del convertidor 102 con acumuladores de energía 9 distribuidos. Se conoce el número de subsistemas 10 utilizados por cada derivación de válvula T1, ..., T6 y la tensión de condensador  $U_C$  presente en cada caso en el condensador acumulador 9 de cada subsistema 10, de modo que se conoce la amplitud de cada tensión  $U_{L10}$ ,  $U_{L20}$  y  $U_{L30}$  presente en los bornes de salida L1, L2 y L3. Esta amplitud es igual a  $mU_C/2$ , siendo m el número de subsistemas 10 utilizados por cada derivación de válvula T1, ..., T6. Cuanto mayor sea el número m de subsistemas 10 utilizados, menor será la caída

de amplitud en caso de avería de un subsistema 10 en una derivación de válvula T1, ..., T6.

De acuerdo con la invención, esta caída de tensión en un módulo de fase 100 defectuoso se compensará ahora aumentando las tensiones de condensador  $U_C$  de los subsistemas 10 del módulo de fase 100 defectuoso. Para ello, los acumuladores de energía 9 de estos subsistemas 10 se cargan adicionalmente de tal manera que la suma de las tensiones de condensador aumentadas  $U_C^*$  sean igual a la suma de las tensiones de condensador  $U_C$  de una derivación de válvula T3, T4 o T5, T6 de un módulo de fase 100 no defectuoso. Para esta tensión de condensador aumentada  $U_C^*$ , es válido que:

$$U_C^* = U_C + \Delta U \text{ con } \Delta U = U_C/m - n.$$

En el caso supuesto, esto significa que lo siguiente:

$$10 \quad \Sigma U_C^* = 4/3 U_C$$

ha de ser válido. De ello se deduce que las tensiones de condensador  $U_C$  de los acumuladores de energía 9 de los tres subsistemas 10 todavía presentes de las dos derivaciones de válvula T1 y T2 del módulo de fase 100 defectuoso deben aumentarse en un tercio de su valor. Si en lugar de cuatro subsistemas 10 por cada derivación de válvula T1, ..., T6 se usan ocho subsistemas 10, las tensiones de condensador  $U_C^*$  de los subsistemas 10 de cada derivación de válvula T1 y T2 de un módulo de fase 100 defectuoso deben aumentarse de acuerdo con la ecuación indicada para un tensión de condensador aumentada  $U_C^*$  en cada caso solo en 1/7 de su valor.

Con el aumento de la tensión de condensador  $U_C$  al valor  $U_C^*$  en el acumulador de energía 9 de cada subsistema 10 de un módulo de fase 100 defectuoso, la carga de tensión de los dos interruptores de semiconductores 1 y 3 y los dos diodos 2 y 4 también se incrementa en cada caso. Para que estos semiconductores 1 a 4 de cada subsistema 10 de un módulo de fase 100 defectuoso puedan soportar esta carga de tensión, el número  $m$  de subsistemas 10 utilizados de cada derivación de válvula T1, ..., T6 del convertidor 102 con acumuladores de energía 9 distribuidos debe ser lo más alto posible, por ejemplo ocho, en particular doce. Cuanto mayor sea el número  $m$  de subsistemas 10 utilizados de cada derivación de válvula T1, ..., T6 del convertidor 102 con acumuladores de energía 9 distribuidos, menos disminuirá el aumento de la tensión de condensador  $U_C$  de los subsistemas 10 restantes de un módulo de fase 100 defectuoso o más podrán compensarse los subsistemas 10 defectuosos de una derivación de válvula T1, ..., T6 de un módulo de fase 100 mediante el aumento de las tensiones de condensador  $U_C$  de los subsistemas 10 restantes de las dos derivaciones de válvula T1, T2 o T3, T4 o T5, T6 de un módulo de fase 100 defectuoso.

En qué proporción  $\Delta U$  deben aumentarse en cada caso las tensiones de condensador  $U_C$  de los subsistemas 10 de las derivaciones de válvula T1 y T2 del módulo de fase 100 defectuoso se consulta desde el dispositivo acumulador 108 en función del número determinado de subsistemas 10 defectuosos. En la salida de este dispositivo acumulador 108 hay presente una señal  $S_L$  con la que la fuente de energía 110 conmutable se conecta a los bornes X1 y X2 de los subsistemas 10 del módulo de fase 100 defectuoso de tal manera que sus tensiones de condensador  $U_C$  se aumentan en un valor predeterminado  $\Delta U$ . Para lograr esto, cada subsistema 10 no defectuoso todavía presente de las dos derivaciones de válvula T1 y T2 del módulo de fase 100 defectuoso se puede controlar de la siguiente manera con fines de recarga: De los  $(2m-2n)$  subsistemas todavía presentes ( $m$  = número de subsistemas 10 por cada derivación de válvula;  $n$  = número de subsistemas defectuosos por cada derivación de válvula) del convertidor 102, se controlan  $(2m-2n-1)$  subsistemas 10 al estado de conmutación I y el subsistema 10 no defectuoso en cada caso restante se controla al estado de conmutación II o III. Un siguiente subsistema 10 no defectuoso del módulo de fase 100 defectuoso se controla sucesivamente de manera cíclica al estado de conmutación II y el anterior se controla nuevamente al estado de conmutación I. La fuente de energía 110, que proporciona la tensión de condensador aumentada  $U_C^*$ , también es necesaria en la precarga del acumulador de energía 9 de los subsistemas 10 del convertidor 102. Esto significa que esta fuente de energía 110 ya forma parte de este convertidor 102 con acumuladores de energía 9 distribuidos. Tal precarga se describe en el documento DE 101 03 031 A1 ya mencionado al inicio.

Las tensiones de condensador  $U_C$  de los acumuladores de energía 9 de los subsistemas 10 de las dos derivaciones de válvula T1 y T2 del módulo de fase 100 defectuoso también se pueden aumentar con ayuda de una corriente de derivación de válvula adicional. Para generar una corriente de derivación de válvula adicional, se deben generar áreas tensión-tiempo adicionales de acuerdo con el documento DE 102005045090 B4 en las tensiones de derivación de válvula de un módulo de fase. Tales áreas tensión-tiempo pueden aplicarse por que las operaciones de conmutación de las dos derivaciones de válvula de un módulo de fase ya no se llevan a cabo de manera sincrónica en el tiempo, sino con un período de tiempo que puede elegirse libremente. Esto significa que las operaciones de conmutación de una derivación de válvula superior, por ejemplo T1, de un módulo de fase 100 se llevan a cabo retrasadas y/o adelantadas con respecto a las operaciones de conmutación de una derivación de válvula inferior T2 de este módulo de fase 100. Esta modificación de las operaciones de conmutación de las dos derivaciones de válvula T1, T2 del módulo de fase 100 defectuoso ajusta dinámicamente un área tensión-tiempo adicional

predeterminada. Para no repetir la mayor parte de esta memoria de patente, se remite a esta memoria de patente para una explicación más detallada de la generación de áreas tensión-tiempo adicionales.

5 En las figuras 13 y 14 se muestran en cada caso evoluciones de potencial  $U_{PL1}$  y  $U_{L1N}$  de las derivaciones de válvula T1 y T2 del módulo de fase 100 defectuoso en cada caso en un diagrama a lo largo del tiempo t. La evolución en el diagrama de acuerdo con la figura 14 corresponde exactamente a la evolución de potencial cualitativa en el diagrama de la figura 9. De acuerdo con el procedimiento de acuerdo con la invención, un subsistema 10 en la derivación de válvula T1 no defectuosa del módulo de fase 100 defectuoso, que se corresponde con la derivación de válvula T2 defectuosa, también se controla de tal manera que su tensión de borne  $U_{X21}$  sea cero. Por lo tanto, la evolución de potencial  $U_{PL1}$  en el diagrama de la figura 13 corresponde a la evolución de potencial cualitativa  $U_{L1N}$  en el diagrama de la Figura 14, que son opuestos entre sí. Una evolución de potencial  $U_{L10}$  presente en la salida L1 del módulo de fase 100 defectuoso del convertidor 102 con acumuladores de energía 9 distribuidos se muestra en la figura 15 en un diagrama a lo largo del tiempo t. Sin la segunda parte del procedimiento de acuerdo con la invención, a saber, el aumento de las tensiones de condensador  $U_C$  en  $\Delta U$  de los subsistemas 10 todavía presentes, el valor pico de la tensión de salida  $U_{L10}$  es 3/2 con respecto a  $2U_C$  de la tensión de salida  $U_{L20}$  o  $U_{L30}$  de un módulo de fase 100 no defectuoso. Esta diferencia de amplitud se compensa aumentando las tensiones de condensador  $U_C$  en  $\Delta U$  de los subsistemas 10 todavía presentes de las dos derivaciones de válvula T1, T2 del módulo de fase 100 defectuoso. Con este aumento en las tensiones de condensador  $U_C$  en  $\Delta U$ , el diagrama vectorial asimétrico de acuerdo con la figura 11 se convierte nuevamente en el diagrama vectorial simétrico de acuerdo con la figura 7.

20 Con este procedimiento de acuerdo con la invención es posible incluso un funcionamiento redundante adicional del convertidor 102 con acumuladores de energía 9 distribuidos en caso de un denominado doble fallo. Un doble fallo es un mal funcionamiento en el que se han averiado dos subsistemas 10 en derivaciones de válvula que no se corresponden de dos módulos de fase 100, por ejemplo, las derivaciones de válvula T1 y T4. Para mantener el esfuerzo de tensión de los semiconductores 1 a 4 de cada subsistema 10 del convertidor 102 con acumuladores de energía 9 distribuidos dentro de los límites, el número m de subsistemas 10 debe elegirse lo más grande posible, en donde podría bastar  $m = 12$  por cada derivación de válvula T1, ..., T6.



## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para controlar un convertidor (102) con acumuladores de energía (9) distribuidos con tres módulos de fase (100), que forman en cada caso una derivación de puente del convertidor (102) y presentan en cada caso una conexión en serie formada por una primera y una segunda derivación de válvula (T1, T3, T5; T2, T4, T6), que están provistas en cada caso de al menos tres subsistemas bipolares (10) que están conectados eléctricamente en serie, estando los tres módulos de fase (100) conectados en el lado de tensión de corriente continua con una barra colectora de tensión de corriente continua positiva y una negativa, en donde un punto de interconexión, en particular un punto de conexión, de la primera y la segunda derivación de válvula (T1, T3, T5; T2, T4, T6) del respectivo módulo de fase (100), constituye una conexión (L1, L2, L3) del módulo de fase 100 en el lado de tensión de corriente alterna, presentando los subsistemas (10) en cada caso un condensador (9), con las siguientes etapas de procedimiento en caso de avería de al menos un subsistema (10):
- a) determinar el número (n) de subsistemas (10) averiados,
  - b) determinar las derivaciones de válvula (T1, ..., T6) en las que hay al menos un subsistema (10) averiado,
  - c) controlar cada subsistema (10) averiado de tal manera que sus tensiones de borne ( $U_{x21}$ ) sean cero,
  - d) determinar derivaciones de válvula (T1, ..., T6) no defectuosas que se corresponden con derivaciones de válvula (T1, ..., T6) defectuosas, de cada módulo de fase (100) defectuoso,
  - e) controlar un número de subsistemas (10) en cada caso en una derivación de válvula (T1, ..., T6) no defectuosa de cada módulo de fase (100) defectuoso de tal manera que sus tensiones de borne ( $U_{x21}$ ) sean cero,
  - f) aumentar las tensiones ( $U_c$ ) del condensador (9) de los subsistemas (10) de cada módulo de fase (100) defectuoso, en los cuales las tensiones de borne ( $U_{x21}$ ) son permanentemente distintas de cero, de tal manera que la suma de las tensiones aumentadas ( $U_c^*$ ) de los condensadores (9) de los subsistemas (10) en cada caso de una derivación de válvula (T1, T6) de un módulo de fase (100) defectuoso sea igual a la suma de las tensiones ( $U_c$ ) de los condensadores (9) de los subsistemas (10) en cada caso de una derivación de válvula de un módulo de fase (100) no defectuoso, y
  - g) controlar los subsistemas (10) de las derivaciones de válvula (T1, ..., T6) de los módulos de fase (100) no defectuosos de manera correspondiente antes de la avería de al menos un subsistema (10).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en donde los subsistemas (10) de módulos de fase (100) defectuosos, cuyas tensiones de borne ( $U_{x21}$ ) son permanentemente distintas de cero, se conectan sucesivamente de manera eléctricamente conductora con una fuente de energía (110) que proporciona la tensión aumentada ( $U_c^*$ ) del condensador (9), durante un período de tiempo predeterminado.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, en donde se ajusta una corriente de derivación de válvula adicional predeterminada, que fluye sucesivamente durante un período de tiempo predeterminado a través de cada subsistema (10) de cada módulo de fase (100) defectuoso, cuyas tensiones de borne ( $U_{x21}$ ) son permanentemente distintas de cero.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, en donde, para generar en cada caso una corriente de derivación de válvula adicional, se usa un área tensión-tiempo adicional en las tensiones de derivación de válvula de cada módulo de fase (100) defectuoso.
5. Procedimiento según la reivindicación 4, en donde se aplican áreas tensión-tiempo adicionales de tal manera que las operaciones de conmutación en la primera y la segunda derivación de válvula (T1, T2 o T3, T4 o T5, T6) de cada módulo de fase (100) defectuoso se llevan a cabo con un período de tiempo predeterminado.
6. Procedimiento según la reivindicación 4, en donde se aplican áreas tensión-tiempo adicionales de tal manera que están previstas operaciones de conmutación adicionales respecto a las operaciones de conmutación realizadas de manera sincrónica en el tiempo de las derivaciones de válvula (T1, T2 o T3, T4 o T5, T6) de cada módulo de fase (100) defectuoso.

FIG 1

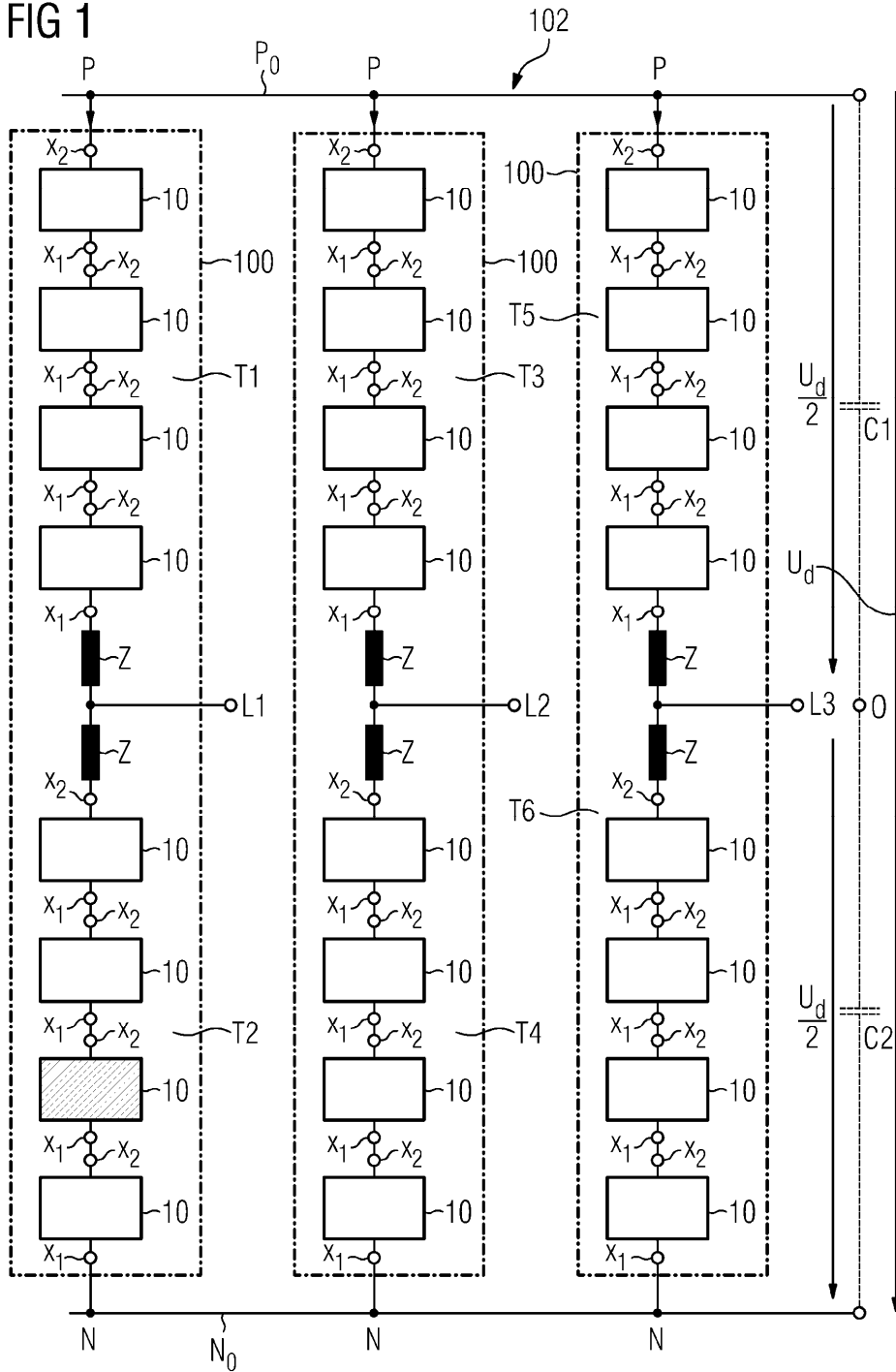


FIG 2

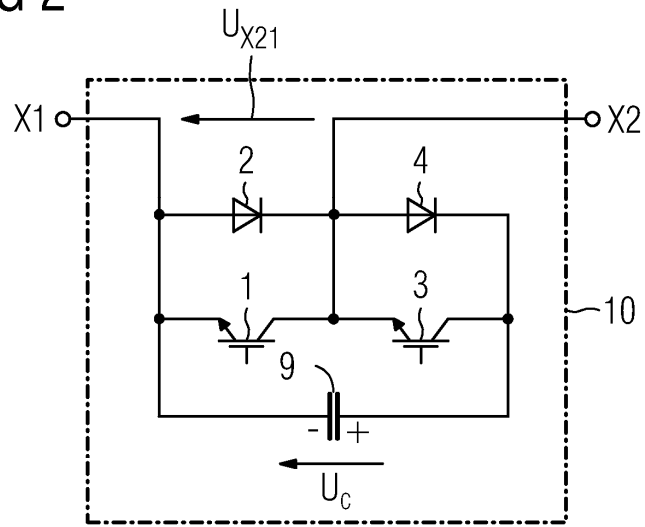


FIG 3

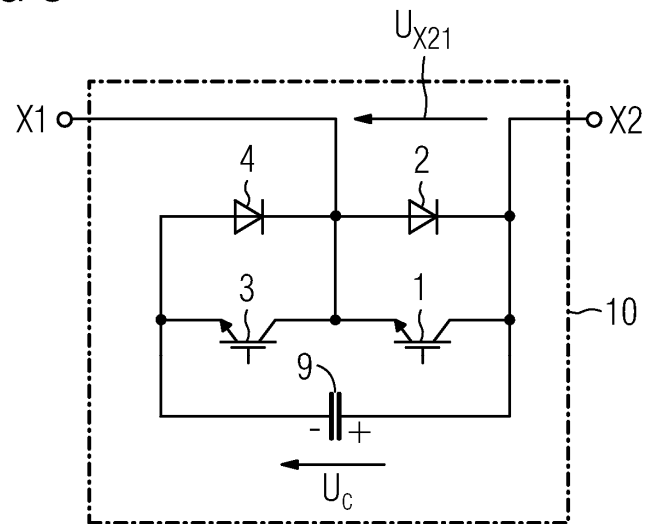


FIG 4

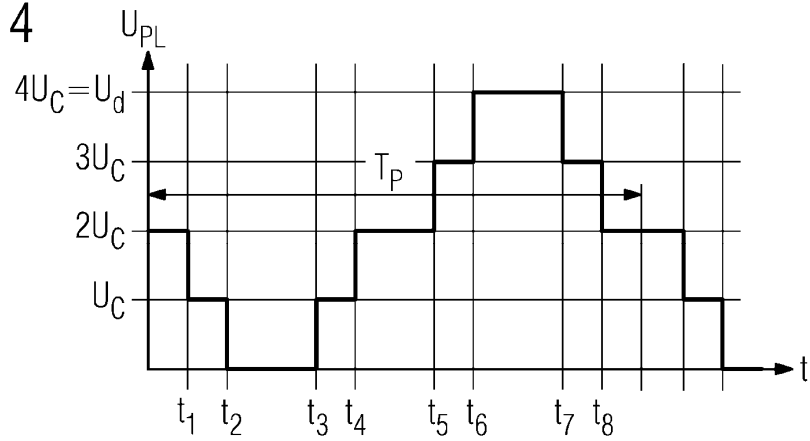


FIG 5

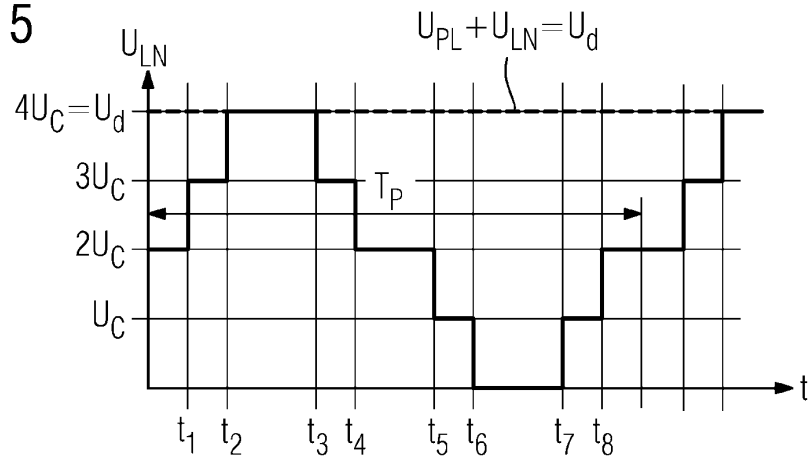


FIG 6

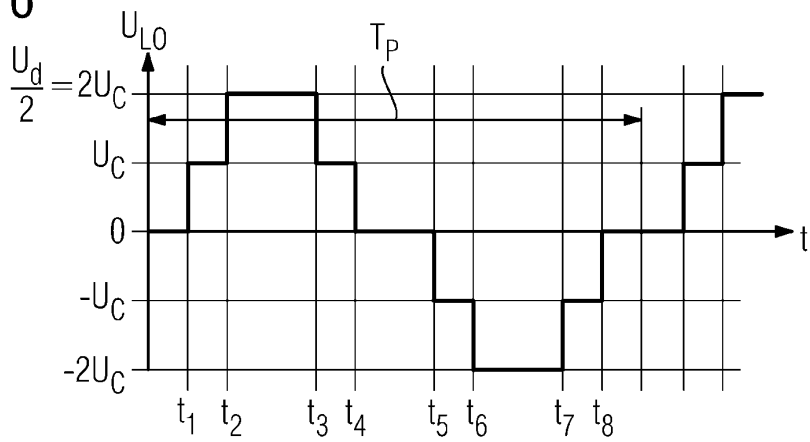


FIG 7

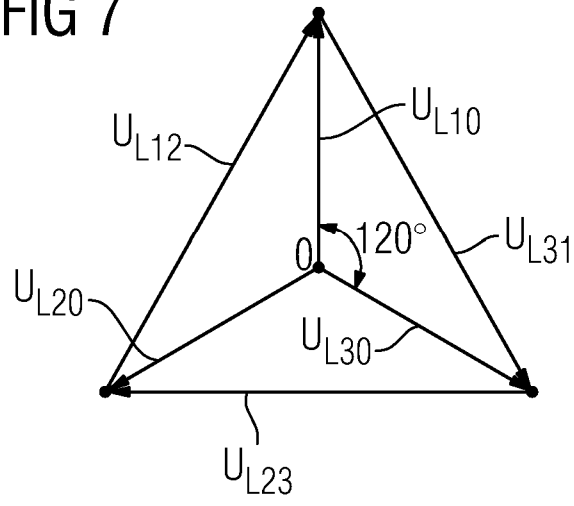


FIG 8

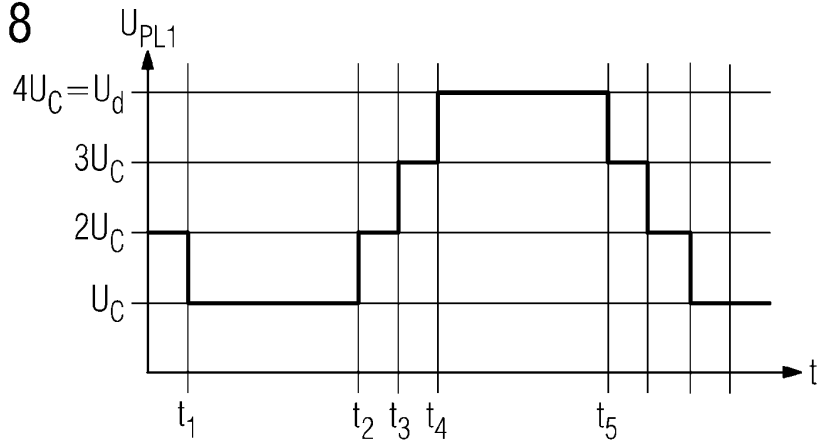


FIG 9

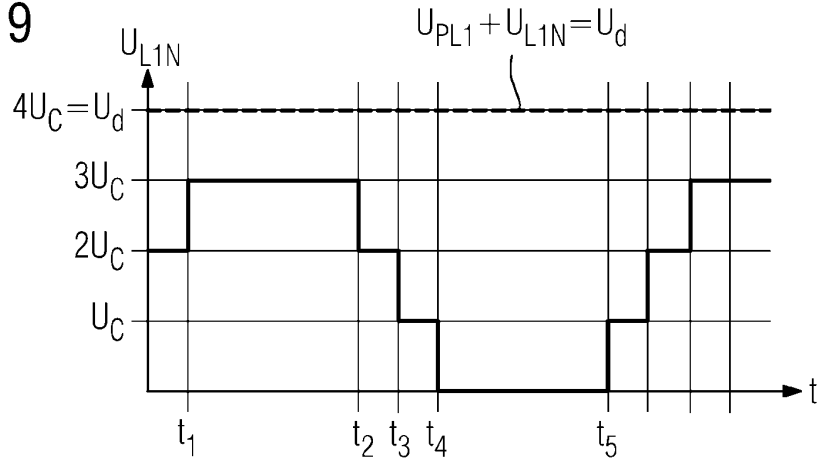


FIG 10

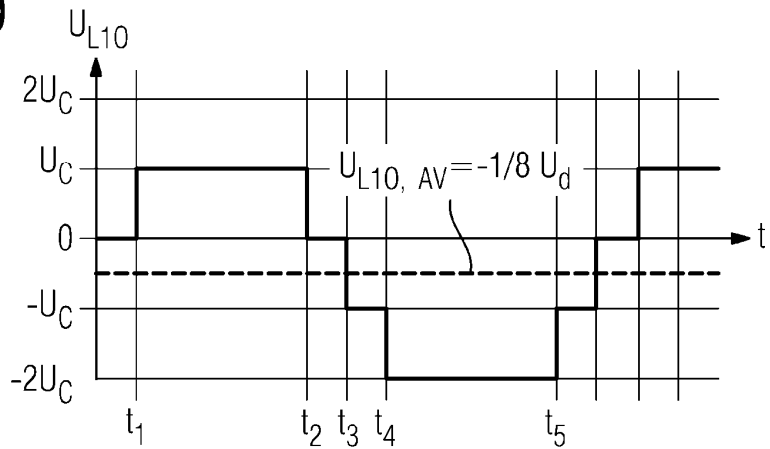


FIG 11

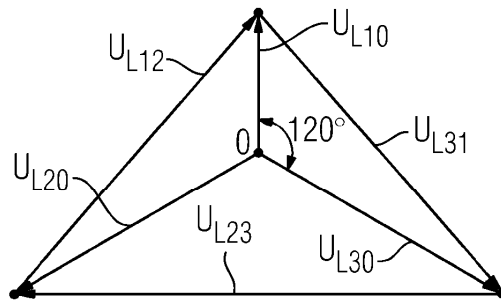


FIG 12

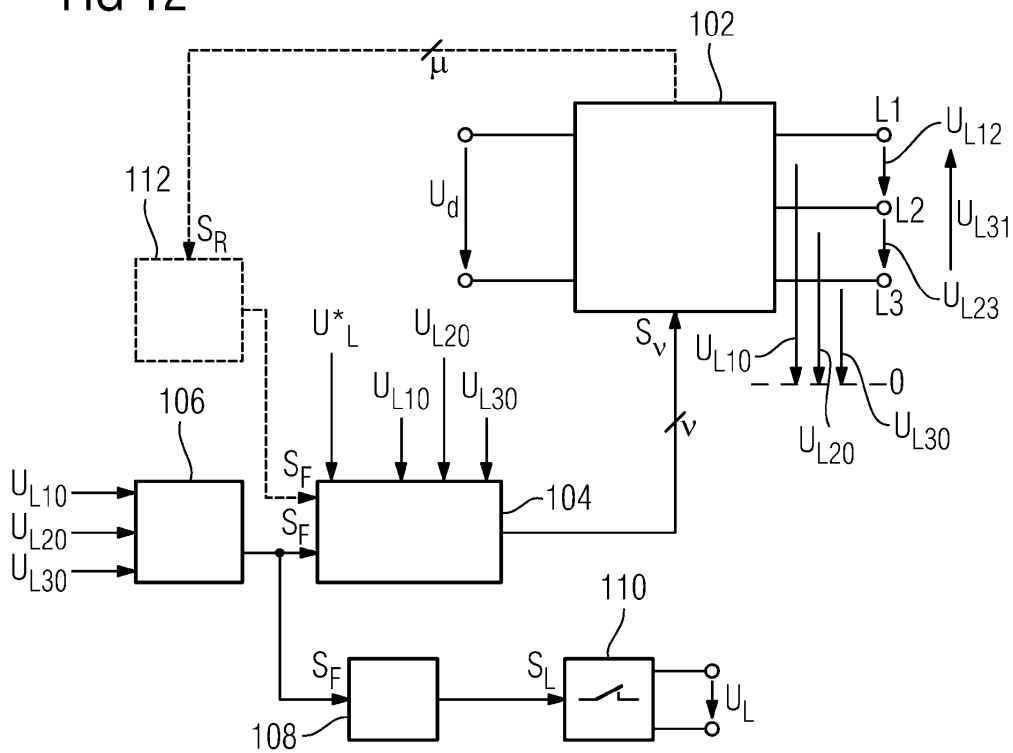


FIG 13

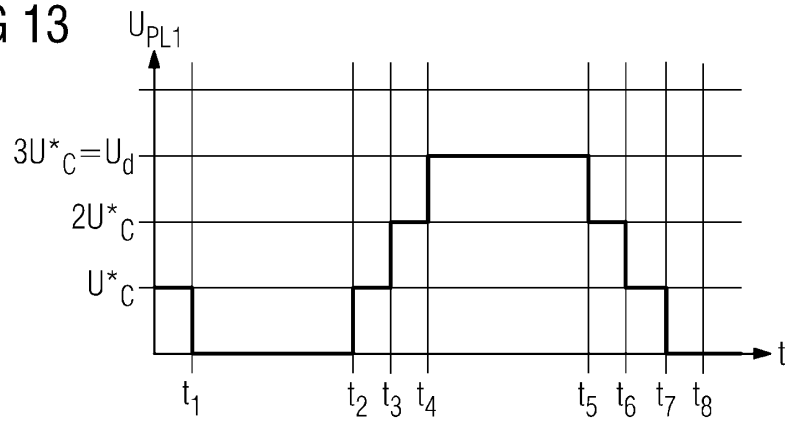


FIG 14

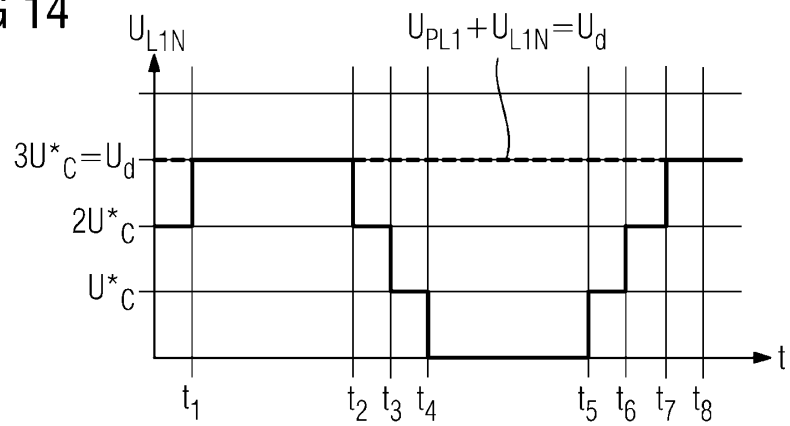


FIG 15

