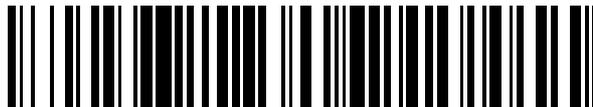


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 378 593**

51 Int. Cl.:
H01F 29/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08785705 .8**
96 Fecha de presentación: **27.08.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2319059**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **11.05.2011**

54 Título: **Conmutador de fases con elementos de conmutación de semiconductores**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.04.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.04.2012

73 Titular/es:
**Maschinenfabrik Reinhausen GmbH
Falkensteinstrasse 8
93059 Regensburg, DE**

72 Inventor/es:
**BRUECKL, Oliver;
DOHNAL, Dieter y
LESSMANN-MIESKE, Hans-Henning**

74 Agente/Representante:
de Elzaburu Márquez, Alberto

ES 2 378 593 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

Conmutador de fases con elementos de conmutación de semiconductores

La invención se refiere a un conmutador de fases con elementos de conmutación de semiconductores para la conmutación sin interrupción entre tomas de arrollamiento de un transformador de fases.

5 Un conmutador de fases con elementos de conmutación de semiconductores, que está configurado como conmutador Hybrid-IGBT, se conoce a partir del documento WO 01/22447. El conmutador de fases descrito allí trabaja de acuerdo con el principio de un conmutador de carga de funcionamiento, en el que se puede prescindir de un acumulador de fuerza. Posee como conmutador híbrido posee una parte mecánica y una parte eléctrica.

10 La parte mecánica, que es el objeto propio del documento WO 01/22447, posee contactos mecánicos de conmutación; la parte central es un contacto de corredera móvil, que es movido a lo largo de un carril de rodadura de contacto conectado con el punto de estrella por medio de un accionamiento a motor y que conecta en este caso elementos de contacto fijos. La conmutación de la carga propiamente dicha se realiza a través de dos IGBTs, respectivamente, con cuatro diodos en circuito Grätz.

15 Este concepto conocido de un conmutador híbrido es costoso y exigente desde el punto de vista mecánico, para asegurar la conmutación necesaria de la carga exactamente en el paso de anulación de la corriente de carga.

Se conoce a partir del documento WO 97705536 otro dispositivo de conmutación IGBT, en el que las tomas del arrollamiento de regulación de un transformador de potencia están conectadas a través de un circuito en serie de dos IGBTs con una derivación de la carga común.

20 Este dispositivo de conmutación conocido trabaja de acuerdo con el principio de la modulación de la anchura del impulso; en este caso se realiza una limitación de la corriente del circuito a través de la reactancia reactiva transitorias (TER) del arrollamiento de fases.

25 Esta disposición de circuito conocida y el principio de conmutación que sirve de base requieren una adaptación específica del conmutador de fases al transformador de fases respectivo, que debe conectarse. Con otras palabras: el transformador de fases y el conmutador de fases están adaptados entre sí y colaboran eléctricamente. Este dispositivo de conmutación conocido no se puede fabricar, por lo tanto, como aparato separado de aplicación universal. El documento WO 97/05536 publica un conmutador de fases de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

30 Por último, se conocen a partir del documento GB-A-2424766 diferentes disposiciones de circuito para un conmutador de fases, que contienen varistores conectados de diferente tipo. En una forma de realización, los varistores están conectados en paralelo a los elementos de conmutación respectivos y sirven para la división de la tensión.

35 El problema de la invención es indicar un conmutador de fases del tipo indicado al principio, que está constituido de forma sencilla, posee una alta seguridad funcional y en el que no es necesario tener de conmutar exactamente en el punto de anulación de la corriente de carga. Además, un problema de la invención es indicar un conmutador de fases de este tipo, que no debe adaptarse especialmente a la corriente de carga nominal respectiva y a los arrollamientos respectivos del transformador de fases, sino que se puede conectar por decirlo así "delante de la barra" como aparato funcional en los más diferentes transformadores de fases.

Este problema se soluciona a través de un conmutador de fases con las características de la primera reivindicación de la patente. Las reivindicaciones dependientes se refieren a desarrollos especialmente ventajosos de la invención.

40 La invención parte de dos unidades de conmutación, donde cada unidad de conmutación está constituida, respectivamente, por dos IGBTs antiparalelos correspondientes. A cada IGBT individual está asociado un varistor conectado a tal fin en paralelo. El varistor está dimensionado en este caso de tal forma que la tensión del varistor es menor que la tensión máxima de bloqueo del IGBT paralelo respectivo, pero mayor que el valor momentáneo máximo de la tensión de fases.

45 De manera especialmente ventajosa, los dos IGBTs correspondientes de una unidad de conmutación antiparalela están enganchados juntos en forma de una pila compacta.

50 Además, es especialmente ventajoso posicionar el varistor respectivo en el sentido de un trayecto en paralelo con la menor inductividad posible junto a cada IGBT e integrarlo en la pila. De esta manera, se pueden realizar conexiones de potencia extremadamente cortas entre IGBT y el varistor colocado en paralelo. Esta disposición posibilita también con un valor momentáneo pleno de la corriente de carga una desconexión "dura" muy rápida de la corriente de carga que fluye a través de IGBT con conmutación dentro de $0,1 \dots 1 \mu$ sobre el varistor conectado con una inductividad extremadamente pobre, que presenta él mismo solamente un retardo de reacción extremadamente pequeño en el

intervalo de ns.

5 La “conmutación dura” (Hard-switching”) del IGBT reduce en una medida decisiva la energía de pérdida de desconexión convertida en el IGBT y posibilita ya –como se explica todavía en detalle a continuación- el concepto de conmutación presente aquí de una conmutación de conmutador de fases (OLTC) con cualquier valor discrecional de la corriente de carga momentánea, sin impedancia de conmutación adicional en el OLTC, sin necesidad de conocer la reactancia de dispersión del arrollamiento de fases, sin necesidad de una adaptación del OLTC a la corriente de carga nominal respectiva o a la tensión de fases y sin la necesidad de una sincronización temporal con exactitud de μs del grupo de conmutación IGBT a desconectar y a aceptar.

10 En efecto, se conocen a partir del documento DE 101 18 743 A1y a partir de otras numerosas publicaciones ya varistores en conexión con IGBT. Pero en el estado de la técnica sirven exclusivamente para proteger semiconductores frente a sobretensiones, por lo tanto solamente tienen una función de limitación de la tensión.

15 En cambio, en la invención la función del varistor dispuesto en paralelo a cada IGBT es diferente: después de la conmutación de la corriente de carga impresa, impulsada por la tensión de la red, desde el IGBT de desconexión sobre el varistor colocado en paralelo (circuito de conmutación pequeño), el varistor atravesado por la corriente de carga forma, de acuerdo con su curva característica-I-U, una tensión que muestra una dependencia relativamente reducida del valor momentáneo de la corriente y que permanece prácticamente constante durante el proceso de conmutación del OLTC.

20 Los varistores están dimensionados en este caso de manera especialmente ventajosa de tal forma que la tensión del varistor, que resulta durante la carga con el valor vértice de la corriente máxima, presenta todavía una distancia de seguridad suficiente con respecto a la tensión de bloqueo máxima de los IGBTs.

Por otra parte, la Tensión de Sujeción de los varistores (U_{var} a 1 mA) debe estar claramente por encima del valor vértice de la tensión máxima de las fases, para que la corriente de carga se pueda conmutar desde el lado de desconexión de OLTC más allá de la tensión de las fases sobre el lado de recepción de la corriente de carga (circuito de conmutación grande).

25 La diferencia ΔU entre el valor momentáneo de la caída de la tensión en el varistor y el valor momentáneo de la tensión de las fases provoca a través del dimensionado especial de los varistores la conmutación de la corriente de carga a través de la inductividad de dispersión del arrollamiento de fases y las inductividades de la línea sobre el lado de recepción del conmutador de fases y determina la di/dt del proceso de conmutación ($di/dt = \Delta U/L_{\text{Kom}}$).

30 Esto ilustra que los varistores en el marco de la presente invención no se emplean, como se conoce de acuerdo con el estado de la técnica, para la reducción de sobretensiones transitorias. En la presente invención, los varistores asumen las siguientes funciones atípicas para su tipo y no evidentes a través del estado de la técnica:

- Recepción de la corriente de carga desde los IGBTs desconectados de forma dura.
- Generación de una caída de la tensión que debe estar, independientemente del valor momentáneo de la corriente de carga, en una banda de tensión entre la tensión de bloqueo máxima de los IGBTs y el valor vértice de la tensión máxima de las fases.
- Preparación de un área de la tensión con relación al tiempo, que conmuta la corriente de carga desde el lado de conducción de la corriente pasando sobre la tensión de fases dirigida en sentido opuesto sobre el lado de recepción del conmutador de fases.

40 A través de la invención resulta un dimensionado muy sencillo y de coste favorable de los grupos de conmutación de la electrónica de potencia, porque el volumen de absorción de energía en el caso del varistor es variable de manera flexible y de tamaño diferente que el volumen mucho más pequeño, más caro y sólo difícil de variar, en cuanto al volumen, del chip IGBT.

45 Como otro efecto positivo de la conducción de la corriente de carga a través de los varistores, la preparación necesaria del área de la tensión de conmutación con relación al tiempo a través de los varistores y la recepción de la energía de pérdida que se produce en este caso de la misma manera a través de los varistores dan como resultado un campo de tolerancia muy grande con respecto a la sincronización del instante de la desconexión del grupo IGBT a desconectar y del instante de la conexión del grupo IGBT de recepción.

50 En el caso de que en el transcurso de los años de funcionamiento, como consecuencia del envejecimiento de los componentes y del desplazamiento del punto de trabajo en la electrónica de activación, hubiera que ajustar un comportamiento de conmutación a solapa o discontinuo en un orden de magnitud de aproximadamente $\pm 10 \mu\text{s}$, de ello no se deriva ninguna amenaza para la función en el concepto de conmutación de acuerdo con la invención.

En resumen, la invención presenta las siguientes ventajas:

- Opción de la conmutación en cada valor momentáneo discrecional de la corriente de carga sin solicitación térmica excesiva de los IGBTs.
- 5 • Proceso de conmutación extraordinariamente rápido de la corriente de carga desde el lado del conmutador de fases $A \rightarrow B$ o $B \rightarrow A$ dentro de aproximadamente $10 \mu s$.
- Prevención de oscilaciones perturbadoras.
- Se suprime una adaptación específica de la tarea de cada conmutador de fases a los datos nominales concretos de las fases del encargo (tensión de las fases, corriente nominal de paso, inductividad de dispersión), con tal que no se excedan los valores límite de la tensión de las fases y la corriente nominal de paso.
- 10 • Concepto de conmutación robusto seguro propio con un campo de tolerancia muy grande con respecto a la desviación del tiempo de conmutación entre los dos grupos de conmutación IGBT. No es necesario ningún reajuste después de un tiempo de funcionamiento más prolongado.

A continuación se explica en detalle todavía la invención a modo de ejemplo con la ayuda de figuras.

15 La figura 1 muestra el circuito de un primer conmutador de fases de acuerdo con la invención.

La figura 2 muestra el circuito de un segundo conmutador de fases modificado en el marco de la invención.

Como se representa en la figura 1, cada una de las dos tomas de arrollamiento tap n así como tal n+1 están conectadas través de un conmutador mecánico DS_a o bien DS_b con un circuito en serie formado, respectivamente, por dos IGBTs I_{an} y I_{ap} conectados opuestos sobre el lado n así como I_{bn} y I_{bp} sobre el lado n+1 con la derivación del conmutador de fases. En paralelo cada uno de los dos IGBTs I_{an} y I_{ap} conectados en serie de uno de los lados y I_{bn} y I_{bp} del otro lado, está conectado, respectivamente, un diodo d_{an} , d_{ap} o bien d_{bn} , d_{bp} . En este caso, los diodos de un lado, es decir, d_{an} y d_{ap} o bien d_{bn} y d_{bp} están conectados opuestos entre sí, es decir, con dirección de paso opuesta.

De nuevo, en paralelo a cada uno de estos circuitos en paralelo de IGBT y diodo está previsto en cada caso un varistor V_{an} , V_{ap} o bien V_{bn} , V_{bp} .

25 Por último, se representan todavía los contactos de enganche principales permanentes de cada lado MC_a o bien MC_b , que puentean en cada caso toda la instalación de conmutación en el modo estacionario. Los IGBTs de los dos lados I_{an} , I_{ap} ; I_{bn} , I_{bp} son activados por medio de un excitador IGBT común, representado sólo de forma esquemática, conocido a partir del estado de la técnica.

30 A continuación se explica en detalle a modo de ejemplo una secuencia de conmutación de tap n sobre tap n+1: en la posición básica, la corriente de carga fluye sobre el contacto de enganche principal permanente MC_a desde tap n hacia la derivación del conmutador de fases Y.

Como primera etapa de la secuencia de conmutación se cierran los contactos de conmutación libre DS_a y DS_b .

A continuación se aplica tensión de encendido en las puertas de los IGBTs I_{an} y I_{ap} . Cada uno abre el contacto de enganche principal permanente MC_a y se comunica con la corriente de carga I_L sobre el grupo IGBT I_{an}/I_{ap} .

35 Después de una duración del flujo de la corriente inferior a 10 ms de I_L a través del grupo IGBT I_{an}/I_{ap} , estos IGBTs reciben una instrucción de desconexión y el grupo IGBT I_{bn}/I_{bp} recibe al mismo tiempo (al msnos en el caso estándar) una instrucción de conexión.

40 La tensión que se forma en el IGBT desconectado se transmite sobre el varistor que se encuentra en paralelo. Cuando después de menos de 100 ns se alcanza la Tensión de Sujeción del varistor, el varistor comienza a conducir, con lo que se inicia la asunción de la corriente de carga desde los IGBT I_{an} y I_{ap} .

El varistor está dimensionado de acuerdo con la invención de tal forma que la tensión del varistor atravesado por la corriente de carga se mueve, por una parte, por debajo de la tensión máxima de bloqueo del IGBT paralelo y, por otra parte, por encima del valor máximo momentáneo de la tensión de las fases.

45 El exceso del valor momentáneo de la tensión del varistor por encima del valor momentáneo de la tensión de las fases provoca la conmutación de la corriente de carga con di/dt aproximadamente constante desde el lado A y un desplazamiento por encima de la tensión de las fases y la inductividad de dispersión del arrollamiento de las fases L_G (círculo de conmutación grande) con di/dt igual (en este caso positivo) en el lado B. A pesar de que se reduce continuamente la corriente, que fluye a través del varistor en el lado A, se mantiene constante la tensión del varistor

en una primera aproximación.

Después de aproximadamente 10 μ s, se conmuta toda la corriente de carga desde el varistor del lado A atravesado por la corriente sobre los IGBTs conductores del lado B. Con la aproximación de la corriente del lado A al valor 0 se modifica, en principio, la tensión en el grupo de conmutación A:

5 La tensión del varistor se desploma, el transiente

$$L_{\sigma} \frac{di}{dt}$$

10 desaparece y en el Grupo A de IGBT/varistor aparece la tensión de las fases, que se eleva en función de la polaridad en un IGBT de bloqueo, del diodo colocado en paralelo con él y del varistor colocado de nuevo en paralelo, respectivamente. Incluso en el caso de carga con el valor vértice de la tensión de las fases, el varistor no permite todavía un flujo significativo de la corriente.

Menos de 10 ms después de la conmutación electrónica de la potencia de la corriente de carga desde el lado A sobre el lado B, se cierra el contacto de enganche principal permanente MC_b y se deriva el IGBT-Grupo B. A continuación se conmutan los IGBTs I_{bn}/I_{bp} a través de la activación de la puerta al estado no conductor.

15 La secuencia de conmutación termina con la apertura de los contactos mecánicos de conmutación libre DS_a y DS_b , que protegen los IGBTs contra las solicitaciones transitorias de corriente, que se pueden activar en el arrollamiento de las fases.

20 En la figura 2 se representa un circuito modificado de un conmutador de fases de acuerdo con la invención, en el que los dos varistores de un lado V_{an} , V_{ap} o bien V_{bn} , V_{bp} están agrupados, respectivamente, en un varistor común V_a o bien V_b , respectivamente. En este caso, el conmutador mecánico respectivo de cada lado DS_a o bien DS_b y el varistor respectivo de lado V_a o bien V_b correspondiente forman de la misma manera un circuito en serie hacia la derivación de carga común.

REIVINDICACIONES

- 1.- Conmutador de fases con elementos de conmutación de semiconductores para la conmutación sin interrupción entre tomas de arrollamiento de un transformador de fases, en el que el conmutador de fases presenta dos derivaciones de carga que se pueden conectar con las tomas de arrollamiento respectivas, en el que los elementos de conmutadores de semiconductores son IGBT (I_{an} , I_{ap} ; I_{bn} , I_{bp}), en el que cada una de las dos derivaciones de la carga está conectada eléctricamente con una línea de salida de carga común por medio de un circuito en serie dispuesto, que consta de dos IGBT (I_{an} , I_{ap} ; I_{bn} , I_{bp}) conectados opuestos y en el que un diodo (d_{an} , d_{ap} , d_{bn} , d_{bp}) está conectado en paralelo con cada IGBT (I_{an} , I_{ap} ; I_{bn} , I_{bp}), estando conectados los dos diodos en cada derivación de la carga (d_{an} , d_{ap} o bien d_{bn} , d_{bp}) opuestos uno con respecto al otro, caracterizado porque un conmutador mecánico (DS_a , DS_b) está conectado en serie con el circuito en aerie formado por IGBT (I_{an} , I_{ap} ; I_{bn} , I_{bp}) y diodos paralelos (d_{an} , d_{ap} ; d_{bn} , d_{bp}) en cada derivación de la carga, poque un varistor (V_{an} , V_{ap} ; V_{bn} , V_{bp}) respectivo está conectado en paralelo con cada circuito paralelo formado por IGBT (I_{an} , I_{ap} ; I_{bn} , I_{bp}) y diodo (d_{an} , d_{ap} ; d_{bn} , d_{bp}) y porque los varistores (V_{an} , V_{ap} o V_{bn} , V_{bp}) están dimensionados de tal forma que su tensión de varistor es inferior a la tensión máxima de bloqueo de los IGBTs paralelos respectivos, pero mayor que el valor instantáneo máximo de la tensión de toma.
- 2.- Conmutador de fases de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque cada IGBT (I_{an} , I_{ap} ; I_{bn} , I_{bp}) está combinado en la construcción para formar una pila junto con el varistor (V_{an} , V_{ap} ; V_{bn} , V_{bp}) conectado en paralelo con él y el diodo (d_{an} , d_{ap} ; d_{bn} , d_{bp}).
- 3.- Conmutador de fases de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque los dos varistores (V_{an} , V_{ap} o V_{bn} , V_{bp}) previstos en la misma derivación de carga están combinados para formar un varistor individual (V_a , V_p).
- 4.- Conmutador de fases de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque está previsto un contacto de enganche mecánico principal (MC_a , MC_b) respectivo en paralelo con cada una de las dos derivaciones de la carga.

Diagrama básico 1

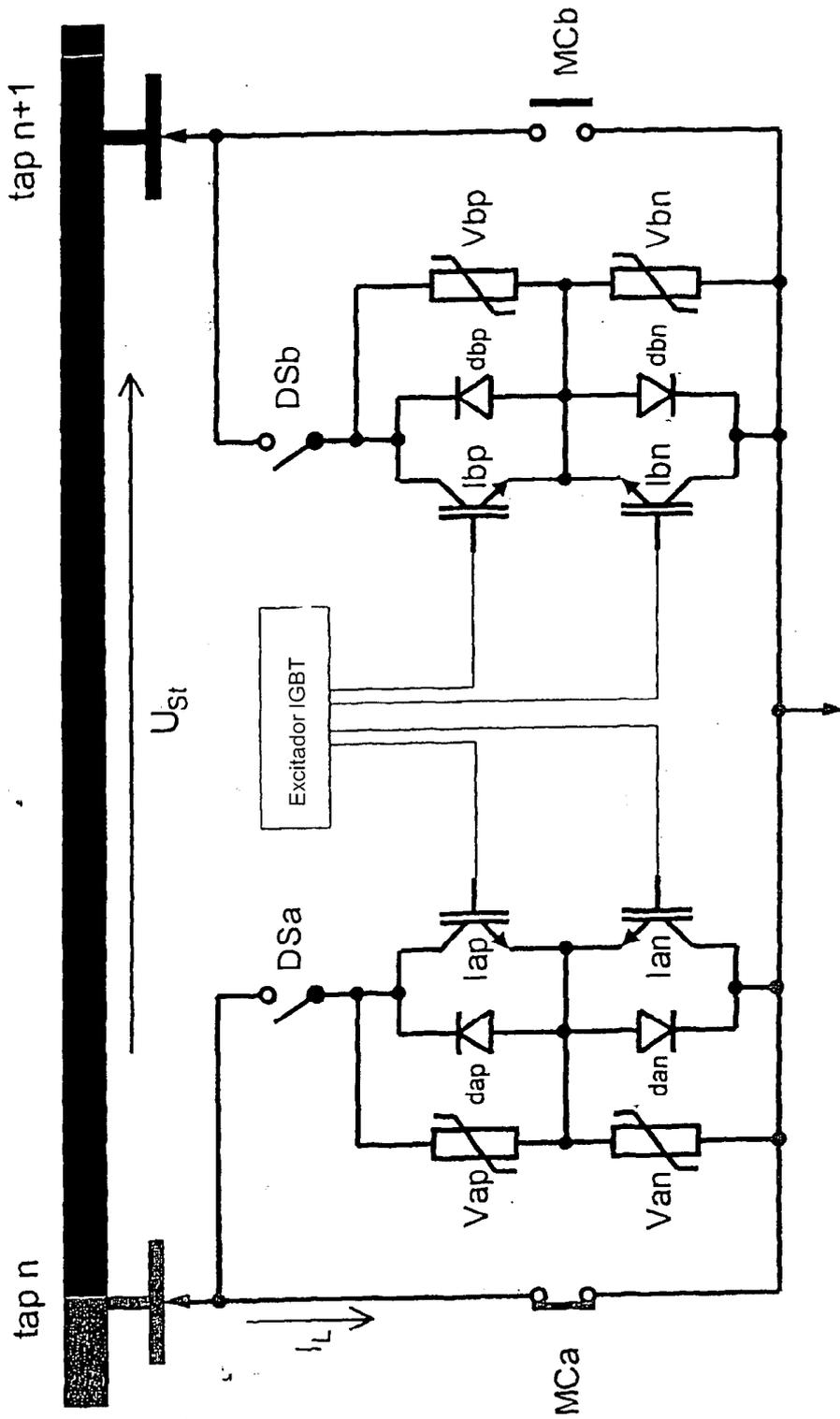


Fig. 1

Diagrama básico 2

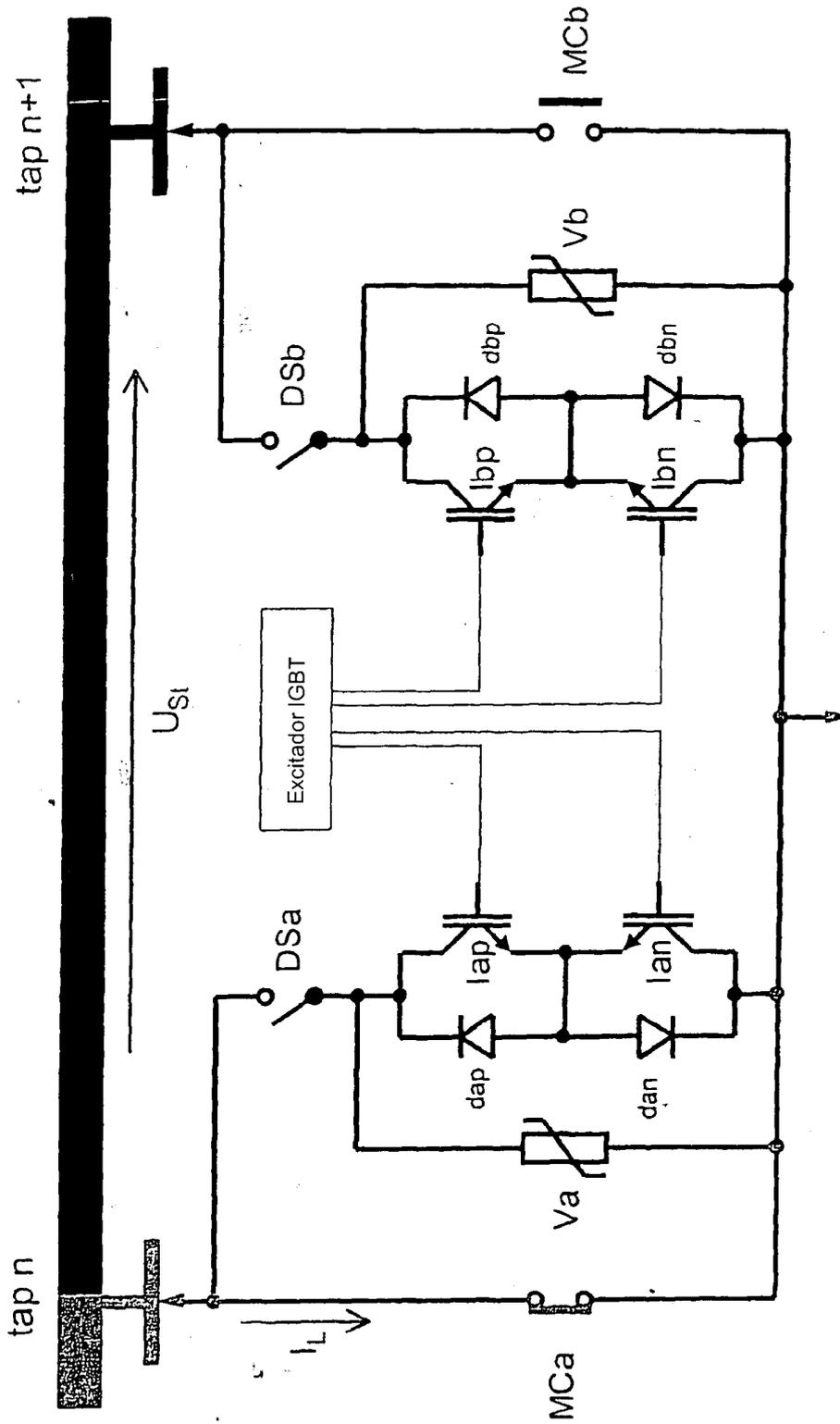


Fig. 2