

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 727 286**

51 Int. Cl.:

H02M 3/337 (2006.01)

H02M 3/335 (2006.01)

H02M 1/34 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.03.2012 E 12157859 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.02.2019 EP 2495860**

54 Título: **Estructura de convertidor de energía eléctrica conmutado**

30 Prioridad:

04.03.2011 FR 1151793

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

15.10.2019

73 Titular/es:

**FAIVELEY TRANSPORT TOURS (100.0%)
75 Avenue Yves Farge ZI Les Yvaudières
37700 Saint Pierre des Corps, FR**

72 Inventor/es:

COYAUD, MARTIN

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 727 286 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

Estructura de convertidor de energía eléctrica conmutado

5 La presente invención concierne a un convertidor de energía eléctrica conmutado.

10 El campo de aplicación de la invención es el de la conversión de energía eléctrica. Ésta está dirigida, en especial, a los convertidores de gran potencia, que precisan de un aislamiento galvánico. La invención está relacionada con los convertidores de energía eléctrica de muy alto rendimiento y en particular se encamina, aunque no exclusivamente, a las tensiones de alimentación elevadas.

15 Se conocen en el estado de la técnica convertidores de tensiones continuas de tipo "*push-pull*" que ponen en práctica un transformador. En un convertidor de este tipo, el primario del transformador por ejemplo está conectado, por una parte, en su punto medio, a un conductor de entrada, a través de una inductancia, por otra parte, por sus dos extremos, a un segundo conductor de entrada. Dos interruptores controlados van conectados respectivamente en una y otra de las ramas que parten de los extremos del primario y son activados alternadamente según un ciclo de trabajo (en inglés, "*duty cycle*") adaptado a la tasa de transferencia buscada. El secundario de dicho transformador comprende típicamente un rectificador entre cuyos bornes está conectada una capacitancia de filtrado. Así, hay disponible a la salida una tensión continua rectificada.

20 Una forma de realización convencional de convertidores con entrada en corriente consiste en la asociación de un ondulator en semipunto o en puente completo, de un transformador de aislamiento y de un rectificador. Se representa una estructura de convertidor de tipo "*push-pull*" en semipunto, por ejemplo, en el documento "Design procedure of a push-pull current fed DC-DC converter" de Maiti, Mondai, Biswas (Dept. of Electrical Engineering, Jadavpur University, Kolkata, India, NPEC 2010).

25 Estas topologías ofrecen la posibilidad de utilizar un circuito de ayuda a la conmutación no disipativo, llamado "*snubber*", colocado paralelamente entre los bornes de los medios de conmutación tales como interruptores controlados.

30 Sin embargo, los convertidores con estructura de ondulator en semipunto o en puente completo exigen ser alimentados mediante una fuente de tensión con el fin de recircular la energía acumulada en el circuito de ayuda a la conmutación, lo cual los hace menos interesantes en el caso de fuentes de alimentación inestables o contaminadas (presencia de sobretensiones).

35 Por lo tanto, estas estructuras presentan el inconveniente de precisar de una fuente de tensión estable y de amplitud del mismo orden que el calibre de los interruptores utilizados para poder llevar a la práctica un circuito de ayuda a la conmutación, imprescindibles en la práctica para limitar las sobretensiones debidas a las inductancias parásitas del transformador y para soportar las fases transitorias, especialmente las fases de arranque y de paro del convertidor.

40 Por otra parte, el circuito de ayuda a la conmutación es inadecuado para la puesta en serie de etapas primarias y, por tanto, inadaptado para las aplicaciones de alta tensión.

45 Asimismo, es conocida una forma de realización de convertidores con entrada en tensión en el documento WO 90/01232 A1.

La presente invención, tal y como se define en la reivindicación 1, tiene por finalidad solucionar los referidos inconvenientes proponiendo un convertidor de muy alto rendimiento, con entrada en corriente.

50 A tal efecto, la invención concierne a una estructura de convertidor de energía eléctrica conmutado con entrada en corriente que incluye una etapa primaria y una etapa secundaria, comprendiendo dicha etapa primaria unos primer y segundo arrollamientos primarios y unas primera y segunda etapas de conversión de tipo *push-pull* respectivamente conexionadas en paralelo a los extremos de dichos primer y segundo arrollamientos primarios, comprendiendo cada una de dichas primera y segunda etapas de conversión sendos primer y segundo interruptores controlados y sendos primer y segundo circuitos de ayuda a la conmutación respectivamente conexionados en paralelo en dichos primer y segundo interruptores controlados, comprendiendo cada uno de dichos primer y segundo circuitos de ayuda a la conmutación un circuito de almacenamiento y un circuito de recirculación.

60 De acuerdo con la invención, las dos etapas de conversión están unidas a un potencial común fluctuante, teniendo la primera etapa de conversión su potencial negativo unido al potencial común y teniendo la segunda etapa de conversión su potencial positivo unido al potencial común, y los primeros circuitos de ayuda a la conmutación de dichas primera y segunda etapas de conversión están interconectados y los segundos circuitos de ayuda a la conmutación de dichas primera y segunda etapas de conversión están interconectados.

65 Tal montaje permite realizar una estructura de convertidor compatible con diferentes fuentes de tensión, de amplitud

variable. Esta estructura está especialmente adaptada para soportar las fases transitorias tales como las fases de arranque y de paro del convertidor. Ofrece además la ventaja de poder ser utilizada en serie con el primario para funcionar a elevadas tensiones de alimentación.

5 De acuerdo con una forma de realización práctica, cada circuito de almacenamiento comprende un condensador *snubber* y un diodo *snubber* y cada circuito de recirculación comprende una inductancia de recirculación y un diodo de recirculación.

10 De acuerdo con otra característica ventajosa de la invención, por intermedio del gobierno simultáneo de los interruptores controlados de los primeros circuitos de ayuda a la conmutación, por una parte, y de los segundos circuitos de ayuda a la conmutación, por otra, los arrollamientos primarios primero y segundo están acoplados y la etapa secundaria comprende un único arrollamiento secundario y un rectificador conexionado en el único arrollamiento secundario, estando dichos primer y segundo arrollamientos primarios y el único arrollamiento secundario acoplados sobre un mismo núcleo.

15 De acuerdo con esta realización ventajosa de la invención, las inductancias de recirculación de los primeros circuitos de ayuda a la conmutación de las primera y segunda etapas de conversión están acopladas y las inductancias de recirculación de los segundos circuitos de ayuda a la conmutación de las primera y segunda etapas de conversión están acopladas.

20 Tales acoplamientos permiten un ahorro de componentes.

Otras particularidades y ventajas de la invención se irán poniendo aún de manifiesto en la descripción subsiguiente.

25 En los dibujos que se acompañan, dados a título de ejemplos no limitativos:

30 La figura 1 representa una forma de realización de un convertidor de corriente conforme a la invención; y las figuras 2a a 2d representan la evolución de las tensiones y corrientes en ciclo establecido en una parte de la estructura de convertidor de corriente ilustrada en la figura 1; y la figura 3 representa una variante del convertidor de la figura 1 en el que los secundarios se han unido en serie; y la figura 4 representa una variante de la invención en la que la estructura de convertidor representada en la figura 1 ha sido conectada a una segunda estructura de convertidor idéntica, en serie con el primario y en paralelo con el secundario.

35 La invención se refiere a una estructura de convertidor de energía eléctrica aislado con entrada en corriente, que incluye al menos una etapa primaria ondulatoria y al menos una etapa secundaria rectificadora.

40 En una primera forma de realización, representada en la figura 1, la estructura de convertidor SC incluye una etapa primaria EP, conectada a la entrada de corriente (IE, VE), denominada etapa primaria, y una etapa secundaria ES a cuya salida se recupera la tensión buscada VS.

45 La etapa primaria incluye dos arrollamientos primarios Tr1-P, Tr2-P conectados cada uno de ellos en su punto medio a la entrada de corriente e incluyendo cada uno de ellos una etapa de conversión con control simétrico denominada etapa de conversión *push-pull* CPP1 y CPP2 conexionada a sus extremos.

50 La primera etapa de conversión *push-pull* CPP1 incluye un primer interruptor controlado T1 conectado en serie por un primer borne a un primer extremo del arrollamiento primario Tr1-P y un segundo interruptor controlado T2 conectado en serie por un primer borne al extremo de dicho arrollamiento primario Tr1-P opuesto al primero.

55 Igualmente, la segunda etapa de conversión *push-pull* CPP2 incluye un primer interruptor controlado T3 conectado en serie por un primer borne a un primer extremo del arrollamiento primario Tr2-P y un segundo interruptor controlado T4 conectado en serie por un primer borne al extremo de dicho arrollamiento primario Tr2-P opuesto al primero.

En este punto, los interruptores controlados T1 - T4 son transistores bipolares NPN (en inglés: *NPN bipolar junction transistor*).

60 Los interruptores controlados T1 - T4 pueden ser de manera general interruptores unidireccionales o bidireccionales, tales como tiristores GTO, tiristores IGCT, triacs, transistores de tipo FET, bipolares, IGBT, MOSFET o similares, o asociaciones de estos interruptores.

65 Los interruptores controlados T1 - T4 están interconectados a un potencial común fluctuante PC por su borne opuesto a los arrollamientos primarios Tr1-P, Tr2-P en los que están conexionados. De este modo, los dos conjuntos que constan cada uno de ellos de uno de los dos arrollamientos primarios Tr1-P, Tr2-P y de su etapa de conversión

propia CPP1, CPP2 están conectados contrapuestos al potencial común fluctuante PC de modo que el potencial positivo del segundo conjunto Tr2-P, CPP2 sea el potencial negativo del primer conjunto Tr1-P, CPP1.

5 Entre los bornes de cada interruptor controlado T1 - T4 está conectado un circuito de ayuda a la conmutación CAC1 - CAC4 correspondiente, de estructura semejante a los descritos en la solicitud de patente de la firma solicitante FR 2870057 A1, y que incluyen cada uno de ellos un circuito de almacenamiento y un circuito de recirculación.

10 Para simplificar la descripción, se hablará de un primer brazo en relación con los interruptores controlados T1 y T3 y los correspondientes circuitos de ayuda a la conmutación CAC1 y CAC3. Igualmente, el segundo brazo designará los interruptores controlados T2 y T4 y los correspondientes circuitos de ayuda a la conmutación CAC2 y CAC4.

15 Los circuitos de almacenamiento comprenden cada uno de ellos un condensador de protección contra las sobretensiones, denominado condensador *snubber* Cs1 - Cs4, y un asociado diodo de protección, denominado diodo *snubber* Ds1 -Ds4, conectado en serie al correspondiente condensador *snubber*. Cada circuito de almacenamiento está conectado en paralelo al correspondiente interruptor controlado T1 - T4, estando posicionado el condensador por el lado del arrollamiento primario oportuno Tr1-P, Tr2-P.

20 Cada circuito de recirculación comprende una inductancia de recirculación Lr1 - Lr4 y un diodo de recirculación Dr1 - Dr4.

25 El circuito de recirculación Lr1, Dr1 del primer circuito de ayuda a la conmutación CAC1 de la primera etapa de conversión CPP1 está conexionado entre los potenciales negativos de los condensadores *snubbers* Cs1, Cs3 del primer brazo. El circuito de recirculación Lr3, Dr3 del primer circuito de ayuda a la conmutación CAC3 de la segunda etapa de conversión CPP2 está conexionado entre los potenciales positivos de los condensadores *snubbers* Cs1, Cs3 del primer brazo.

30 Igualmente, el circuito de recirculación Lr2, Dr2 del segundo circuito de ayuda a la conmutación CAC2 de la primera etapa de conversión CPP1 está conexionado entre los potenciales negativos de los condensadores *snubbers* Cs2, Cs4 del segundo brazo. El circuito de recirculación Lr4, Dr4 del segundo circuito de ayuda a la conmutación CAC4 de la segunda etapa de conversión CPP2 está conexionado entre los potenciales positivos de los condensadores *snubbers* Cs2, Cs4 del segundo brazo.

35 Tal como se explicará con ayuda de las curvas de las figuras 2a - 2d, la energía acumulada en los circuitos de almacenamiento S1 - S4 de los circuitos de ayuda a la conmutación en la apertura de los interruptores controlados T1 - T4 se descarga en la otra parte del brazo a través de las inductancias de recirculación Lr1 - Lr4 de los correspondientes circuitos de recirculación.

40 En la primera etapa de conversión CPP1, los diodos *snubber* Ds1 y Ds2 así como los diodos de recirculación Dr1, Dr2 están orientados al objeto de estar en conducción desde las respectivas inductancias de recirculación correspondientes Lr1, Lr2 hacia el potencial común fluctuante PC. Por el contrario, en la segunda etapa de conversión CPP2, los diodos *snubber* Ds3, Ds4, así como los diodos de recirculación Dr3, Dr4, están orientados al objeto de estar en conducción desde el potencial común fluctuante PC hacia las respectivas inductancias de recirculación correspondientes Lr3, Lr4.

45 En la forma de realización representada en la figura 1, la etapa secundaria ES incluye dos arrollamientos secundarios Tr1-S, Tr2-S. Entre los bornes de cada arrollamiento secundario está conectado un rectificador. El primer arrollamiento secundario Tr1-S está conectado a un rectificador constituido a partir de un primer puente de diodos D1, D2, D2', D1', el segundo arrollamiento secundario Tr2-S está conectado a un rectificador constituido a partir de un segundo puente de diodos D3, D4, D4', D3'.

50 Los conjuntos así determinados, comprendiendo cada uno de ellos un arrollamiento secundario y su asociado puente de diodos, están conexionados en paralelo en un dispositivo de almacenamiento y de filtrado de salida, en este punto, un condensador C1, en cuyos bornes se recupera la tensión de salida VS de la estructura de convertidor SC.

55 Por otro lado, el montaje presenta a la entrada un dispositivo de filtrado de corriente de tipo inductancia L1, destinado a disminuir las ondulaciones de corriente generadas por el troceo.

60 Una segunda forma de realización, representada en la figura 3, rescata la estructura de la primera forma de realización en la que los arrollamientos secundarios primero y segundo están unidos en serie mediante un conductor J.

65 En esta segunda configuración, es posible jugar con el desfase de los gobiernos de los interruptores controlados T1, T2 de la primera etapa de conversión CPP1 con respecto a los interruptores controlados T3, T4 de la segunda etapa de conversión CPP2. Esta configuración aumenta sensiblemente la excursión posible de la relación entre tensiones

de entrada y de salida VS/VE.

Pasamos a describir el funcionamiento de la estructura de convertidor SC en función de la ley de gobierno de los interruptores.

5 En primera instancia, no se tienen en cuenta las etapas de circuito de ayuda a la conmutación. En esta realización, la topología se asemeja entonces a dos convertidores *push-pull*, con entrada en corriente, dispuestos en serie. Al ser el convertidor con entrada en corriente, se puede considerar como primer enfoque que el gobierno de los interruptores es tal que los interruptores controlados T1, T2 de la primera etapa de conversión CPP1 no están abiertos simultáneamente y que los interruptores controlados T3, T4 de la segunda etapa de conversión CPP2 no están abiertos simultáneamente.

10 En el caso de un solo interruptor controlado cerrado de entre los interruptores controlados T1, T2 de la primera etapa de conversión CPP1 (respectivamente, de entre los interruptores controlados T3, T4 de la segunda etapa de conversión CPP2), la tensión en bornes del interruptor abierto es la tensión en bornes del arrollamiento primario Tr1-P (respectivamente, del arrollamiento secundario Tr2-P). Esta tensión es igual, con precisión de la relación de arrollamiento m , a la mitad de la tensión en bornes del arrollamiento secundario Tr1-S (respectivamente, del arrollamiento secundario Tr2-S), esto es, después de rectificadas la tensión $m \cdot VS/2$. Se aplica entonces una tensión total $m \cdot VS$ a la etapa primaria. Igualmente, la corriente que atraviesa el interruptor cerrado de entre los interruptores controlados T1, T2 de la primera etapa de conversión CPP1 (respectivamente, T3, T4 de la segunda etapa de conversión) vale IE .

15 En el caso de ambos interruptores controlados cerrados T1, T2 en la primera etapa de conversión CPP1 (respectivamente, T3, T4 en la segunda etapa de conversión CPP2), la tensión en bornes del arrollamiento primario Tr1-P (respectivamente, del arrollamiento secundario Tr2-P) queda reducida a cero. En este caso, no hay transferencia de energía de la etapa primaria EP hacia la etapa secundaria ES. La etapa primaria EP presenta una tensión nula y la corriente IE se comparte entonces entre los dos interruptores controlados de cada etapa.

20 Si definimos α como el ciclo de trabajo de cierre de los interruptores controlados ($50\% < \alpha < 100\%$) y si los interruptores controlados T1, T2 de la primera etapa de conversión CPP1 (respectivamente, T3, T4 de la segunda etapa de conversión CPP2) están en contrafase, se puede hacer variar la tensión que presenta la etapa primaria EP mediante la elección de α :

25

$$V_{etapa} = (2 - 2 \times \alpha) \times m \times VS$$

30 Los circuitos de ayuda a la conmutación CAC1 - CAC4 permiten un funcionamiento más amplio de la estructura de convertidor, facultando que los interruptores controlados T1, T2 (respectivamente, T3, T4) de una misma etapa de conversión CPP1 (respectivamente, CPP2) estén abiertos simultáneamente, es decir, tengan un ciclo de trabajo α inferior al 50 %. Esta fase de funcionamiento es interesante cuando la tensión de entrada es superior a la tensión de salida multiplicada por la relación m ($VE > m \cdot VS$), es decir, en especial, cuando arranca el convertidor y la tensión de salida VS es nula o insuficiente o, con carácter general, la tensión de entrada VE es superior a $m \cdot VS$.

35 Este modo de funcionamiento capital está reservado para corrientes de entrada IE bajas, pues los condensadores *snubber* Cs1 - Cs4 son de pequeño valor.

40 Por otra parte, la utilización de estas etapas de circuito de ayuda a la conmutación CAC1 - CAC4 permite convencionalmente disminuir las pérdidas en la apertura de los interruptores controlados T1 - T4 desviando la corriente al correspondiente condensador Cs1 - Cs4 y limitar la sobretensión generada en la apertura de los interruptores T1 - T4. Esta sobretensión es debida a la inductancia de fuga de los arrollamientos primarios Tr1-P, Tr2-P que no puede ser anulada y que participa en limitar las pérdidas en el cierre de los interruptores T1 - T4 ralentizando la subida de la corriente durante la conmutación. Los circuitos de ayuda a la conmutación CAC1 - CAC4 permiten disminuir las perturbaciones generadas por la estructura de convertidor ralentizando los frentes de las formas de ondas en las conmutaciones.

45 Las curvas representadas en las figuras 2a - 2d muestran, en ciclo establecido, la evolución de las tensiones y corrientes en el primer brazo de la forma de realización representada en la figura 1. Estas curvas corresponden a los siguientes parámetros de funcionamiento, a título de ejemplos no limitativos:

- 50
- la frecuencia de troceo de los interruptores controlados T1 - T4 es igual a 20 kHz,
 - la relación de arrollamiento m entre el primer arrollamiento primario y el primer arrollamiento secundario es igual a 2 (lo que corresponde a $Tr1-P/Tr1-S = 2/1$),
 - la tensión de entrada VE es igual a 100 V, la tensión de salida VS es igual a 100 V y la corriente de entrada IE es igual a 10 A,
 - la capacidad de los condensadores Cs1 - Cs4 es de 200 nF, el valor de las inductancias de recirculación

ES 2 727 286 T3

Lr1 - Lr4 es de 400 μ H,

- el ciclo de trabajo α de los transistores T1 - T4 está fijado al 72 %,

- el desfase de los interruptores controlados T1 - T4 es igual a los siguientes valores: $\varphi_{T1} = 0^\circ$, $\varphi_{T2} = 180^\circ$, $\varphi_{T3} = 90^\circ$, $\varphi_{T4} = 270^\circ$.

5 El funcionamiento del sistema se divide en 7 fases que representan en total un periodo de troceo que, en este ejemplo, se extiende del instante $t_0 = 925 \mu\text{s}$ al instante $t_7 = 975 \mu\text{s}$:

10 Fase 1: $t_0 = 925 \mu\text{s}$ a $t_1 = 936 \mu\text{s}$

El interruptor controlado T1 está cerrado. La tensión VT1 entre sus bornes es, entonces, nula, y la corriente IT1 que lo recorre toma el valor IE.

15 La inductancia de recirculación Lr1 devuelve energía. El diodo *snubber* Ds1 y el diodo de recirculación Dr1 están recorridos por corrientes IDs1 e IDr1 iguales a 2 A.

Al estar cerrado el interruptor controlado T3, la corriente circula permanentemente por la inductancia de recirculación Lr1.

20 En consecuencia, las tensiones en bornes del diodo *snubber* Ds1 y del condensador Cs1 son nulas; el condensador *snubber* Cs1 está descargado.

25 Al estar cerrado el interruptor controlado T2, el primer arrollamiento primario Tr1-P está en cortocircuito y la tensión VTr1-P entre sus bornes es nula, resultando en una tensión VTr1-S también nula en bornes del arrollamiento secundario Tr1-S.

Fase 2: $t_1 = 936 \mu\text{s}$ a $t_2 = 941 \mu\text{s}$

30 El interruptor controlado T1 es abierto en el instante $t_1 = 936 \mu\text{s}$. A partir de este instante, la corriente IT1 que atraviesa T1 toma un valor nulo.

La corriente que inicialmente atravesaba el interruptor controlado T1 es derivada al circuito de almacenamiento Cs1, Ds1. Se observa la carga del condensador *snubber* Cs1 hasta el instante $t_2 = 941 \mu\text{s}$.

35 La tensión en bornes del primer arrollamiento primario Tr1-P y, consecuentemente, en bornes del primer arrollamiento secundario Tr1-S, aumenta progresivamente.

El diodo de recirculación Dr1 y la inductancia de recirculación Lr1 siguen haciendo circular una corriente IDr1 = 2 A.

40 Al estar cerrado el interruptor controlado T2, la tensión en bornes del condensador *snubber* Cs1 para de crecer en el instante $t_2 = 941 \mu\text{s}$ cuando la tensión en bornes del primer arrollamiento secundario Tr1-S alcanza la tensión de salida Vs. En este instante, en efecto, los diodos del rectificador D1 y D'1 entran en conducción y la tensión en bornes del arrollamiento primario Tr1-P para de crecer por efecto del acoplamiento del primer arrollamiento primario Tr1-P y del primer arrollamiento secundario Tr1-S.

45 La corriente por el diodo *snubber* Ds1 vuelve a caer entonces al valor precedente de libre circulación de la inductancia de recirculación Lr1, esto es, IDs1 = 2 A.

Fase 3: $t_2 = 941 \mu\text{s}$ a $t_3 = 948 \mu\text{s}$

50 El condensador *snubber* Cs1 está cargado, el interruptor controlado T1 está abierto, los interruptores controlados T2, T3 están cerrados. La corriente del circuito de ayuda a la conmutación circula permanentemente por los diodos Ds1, Dr1 y la inductancia de recirculación Lr1.

55 Fase 4: $t_3 = 948 \mu\text{s}$ a $t_4 = 950 \mu\text{s}$

El interruptor controlado T3 es abierto según el mismo escenario que el interruptor controlado T1 en la fase 2.

60 La corriente de libre circulación que atraviesa los diodos Ds1, Dr1 y la inductancia de recirculación Lr1 empieza a decrecer, ya que la tensión VT3 en bornes del interruptor controlado T3 aumenta por efecto de la recirculación de la energía de Lr1. Esta energía es transferida al condensador *snubber* Cs3.

Fase 5: $t_4 = 950 \mu\text{s}$ a $t_5 = 963 \mu\text{s}$

65 El interruptor controlado T1 es cerrado en el instante $t_4 = 950 \mu\text{s}$. La carga del condensador *snubber* Cs1 pone

inmediatamente en corte el diodo *snubber* Ds1 (valiendo la tensión VCs1 en bornes del condensador *snubber* Cs1 aproximadamente 210 V). La corriente crece en el circuito de recirculación Dr1, Lr1: es la fase de recirculación de la energía del condensador *snubber* Cs1. Disminuye la tensión VCs1 en bornes del condensador *snubber* Cs1.

5 Cuando la tensión ascendente en bornes del interruptor controlado T3 iguala a la tensión descendente en bornes del condensador *snubber* Cs1 (en el instante $t_5 = 953 \mu s$), la corriente IDR1 procedente de la descarga del condensador *snubber* Cs1 alcanza su máximo y empieza a decrecer.

10 A partir de este instante, el circuito de ayuda a la conmutación CAC 1 efectúa una transferencia de energía resonante desde la inductancia de recirculación Lr1 y el condensador *snubber* Cs1 hacia el segundo arrollamiento primario Tr2-P. Así, la energía del circuito de ayuda a la conmutación se transfiere al arrollamiento secundario, sin más pérdida que las de los componentes semiconductores y reactivos.

15 Durante este tiempo, el interruptor controlado T1 permanece cerrado y pasa por él una corriente igual a $(1/2 \times I_E + I_{Dr1})$.

Fase 6: $t_5 = 963 \mu s$ a $t_6 = 966 \mu s$

20 El interruptor controlado T2 se abre según el mismo escenario que en cuanto al interruptor controlado T1 en la fase 2.

25 El interruptor controlado T3 se cierra y la tensión VT3 en bornes del interruptor T3, y que permitía la descarga del condensador *snubber* Cs1 en el segundo arrollamiento primario Tr2-P a través del circuito de recirculación Dr1, Lr1, se anula. Al estar cerrados los interruptores T1, T3, el circuito constituido a partir del condensador *snubber* Cs1 y del circuito de recirculación Dr1, Lr1 determina un lazo cerrado, y la tensión restante en bornes del condensador *snubber* Cs1 se transfiere a la inductancia de recirculación Lr1.

30 En el instante $t_6 = 966 \mu s$, finaliza la apertura del interruptor controlado T2, y la corriente de entrada IE pasa íntegramente al interruptor controlado T1 cerrado.

Fase 7: $t_6 = 966 \mu s$ a $t_7 = 975 \mu s$

35 El interruptor controlado T1 es recorrido por la corriente de entrada IE, a la que se suma la corriente de las inductancias de recirculación Lr3, Lr4 y del final de la descarga del condensador *snubber* Cs1.

40 La corriente por la inductancia de recirculación Lr1 sigue creciendo según un arco de senoide. Cuando el condensador *snubber* Cs1 está descargado por completo, el diodo *snubber* Ds1 entra en conducción y la energía almacenada en la inductancia de recirculación Lr1 puede circular permanentemente a través de los diodos Ds1, Dr1 y el interruptor controlado T3.

45 Al estar abierto el interruptor controlado T2, la tensión en bornes de la mitad del primer arrollamiento primario Tr1-P situada por el lado del primer brazo es igual a la tensión en bornes del primer arrollamiento secundario Tr1-S por acoplamiento.

El sistema está listo entonces para el siguiente ciclo.

Se pueden poner en práctica numerosas variantes, lo mismo en la etapa primaria EP que en la etapa secundaria ES de la estructura de convertidor.

50 En una variante de realización, los arrollamientos primarios Tr1-P y Tr2-P están acoplados sobre un mismo núcleo. Así, es posible utilizar tan sólo un único arrollamiento secundario común, suprimiendo así el puente rectificador que consta de D3, D4, D4', D3'. Esta supresión permite ventajosamente gobernar simultáneamente, por una parte, los primeros interruptores controlados T1, T3 y, por otra, los segundos interruptores controlados T2, T4 y, por tanto, reducir el número de bobinados de la estructura de convertidor.

55 Cuando los arrollamientos primarios Tr1-P, Tr2-P están acoplados, aún es posible acoplar las inductancias de recirculación Lr1, Lr3 de la primera etapa de conversión CPP1, por una parte, y acoplar las inductancias de recirculación Lr2, Lr4 de la segunda etapa de conversión 25 CPP2, por otra, siendo atravesadas las mismas por formas de ondas idénticas.

60 Una variante ventajosa del convertidor que se propone consiste en conectar varias etapas primarias en serie y varias etapas secundarias en paralelo sobre varios núcleos de transformadores independientes. Se propone un ejemplo de realización de este tipo en la figura 4, en el que la estructura de convertidor SC representada en la figura 1 está conectada a una segunda estructura de convertidor SC' idéntica, estando sus respectivas etapas primarias EP y EP' conectadas en serie y estando sus respectivas etapas secundarias ES y ES' conectadas en paralelo en la misma

- 5 capacitancia de salida C1. En este punto, la segunda estructura de convertidor SC' comprende dos arrollamientos primarios Tr3-P, Tr4-P y dos etapas de conversión CPP3, CPP4 idénticos a los de la estructura de convertidor SC representada en la figura 1. La puesta en serie de las etapas primarias EP, EP' se efectúa mediante la conexión del potencial negativo de la primera estructura de convertidor SC con el potencial positivo de la segunda estructura de convertidor SC'. El potencial negativo de la primera estructura de convertidor SC es el punto medio del arrollamiento primario Tr2-P. El potencial positivo de la segunda estructura de convertidor SC' es el punto medio del arrollamiento primario Tr3-P.
- 10 Los gobiernos de las etapas primarias en serie, entonces, pueden ser independientes, sincronizados o también sincronizados y escalonados entre sí. En el caso de gobiernos independientes, la conmutación de los interruptores de las diferentes etapas primarias puede así llevarse a cabo a diferentes frecuencias. De este modo, una de las estructuras de convertidor puede servir de dispositivo de filtrado de entrada si el accionamiento de los interruptores controlados de su etapa primaria se lleva a cabo a alta frecuencia. En cambio, gobiernos sincronizados y escalonados pueden permitir disminuir las ondulaciones de la corriente de entrada y de la tensión de salida. En tal forma de realización y con interruptores de calibre 600 V, por ejemplo, cada etapa primaria EP, EP',... puede soportar una tensión unitaria de 400 V aproximadamente. La puesta en serie del número adecuado de etapas primarias permite utilizar una alta tensión de entrada VE indefinida.
- 15
- 20 Una variante del convertidor que se propone consiste en conexionar semipuentes rectificadores en los arrollamientos secundarios Tr1-S, Tr2-S en lugar de los puentes completos, constituyéndose el otro brazo a partir de condensadores con el fin de realizar un punto medio. En esta puesta en práctica, la topología de la figura 1 incluiría, por ejemplo, cuatro condensadores en lugar de los diodos D1, D2', D3 y D4'. Esta realización permite simultáneamente simplificar el rectificador, realizar la función de filtrado de salida realizada inicialmente por C1 y crear un punto medio que escinda la tensión VS en dos tensiones iguales.
- 25
- 30 Consiste una variante de especial interés en el caso de bajas tensiones de salida en sustituir los diodos del rectificador por interruptores de escasa caída de tensión (MOSFET, por ejemplo), con el fin de realizar una rectificación sincronizada con los interruptores T1 - T4 de la etapa primaria. Tal sustitución permite la reversibilidad de corriente de la estructura del convertidor y la disminución de las pérdidas en conducción de la función rectificador así realizada mediante rectificación síncrona.
- 35
- 40 Una variante ventajosa del convertidor consiste en multiplicar las etapas secundarias de los transformadores utilizados y su asociado rectificador, con el propósito de, por ejemplo, realizar alimentaciones con varias salidas aisladas, pese a mantener al menos un arrollamiento y su rectificador dando suministro en una salida común a todos los transformadores con el fin de equilibrar naturalmente las tensiones de las etapas primarias. Se pueden realizar entonces convertidores de múltiples vías, que proporcionen, por ejemplo, en una primera etapa secundaria una tensión de salida de 700 V continua destinada a alimentar un ondulador trifásico y, en una etapa secundaria suplementaria independiente, una pequeña tensión de salida (12 V, 24 V, 48 V, por ejemplo) destinada a alimentar un cargador de batería.

REIVINDICACIONES

1. Estructura de convertidor de energía eléctrica conmutado con entrada en corriente que incluye un dispositivo de filtrado de corriente de tipo inductancia (L1), incluyendo dicha estructura una etapa primaria (EP) y una etapa secundaria (ES), comprendiendo dicha etapa primaria (EP) unos primer y segundo arrollamientos primarios (Tr1-P, Tr2-P) y unas primera y segunda etapas de conversión de tipo *push-pull* (CPP1, CPP2) respectivamente conexas en paralelo a los extremos de dichos primer y segundo arrollamientos primarios (Tr1-P, Tr2-P), comprendiendo cada una de dichas primera y segunda etapas de conversión (CPP1, CPP2) unos primer y segundo interruptores controlados (T1, T2; T3, T4) y unos primer y segundo circuitos de ayuda a la conmutación (CAC1, CAC2; CAC3, CAC4) respectivamente conexas en paralelo en dichos primer y segundo interruptores controlados (T1, T2; T3, T4), comprendiendo cada uno de dichos primer y segundo circuitos de ayuda a la conmutación (CAC1, CAC2; CAC3, CAC4) un circuito de almacenamiento (S1, S2; S3, S4) y un circuito de recirculación, **caracterizada por que** cada circuito de almacenamiento (S1, S2, S3, S4) comprende un condensador *snubber* (Cs1, Cs2, Cs3, Cs4) y un diodo *snubber* (Ds1, Ds2, Ds3, Ds4), **por que** las dos etapas de conversión están unidas a un potencial común fluctuante (PCF), teniendo la primera etapa de conversión su potencial negativo unido al potencial común (PCF) y teniendo la segunda etapa de conversión su potencial positivo unido al potencial común (PCF), y **por que** los primeros circuitos de ayuda a la conmutación (CAC1, CAC3) de dichas primera y segunda etapas de conversión (CPP1, CPP2) están interconectados y los segundos circuitos de ayuda a la conmutación (CAC2, CAC4) de dichas primera y segunda etapas de conversión (CPP1, CPP2) están interconectados.
2. Estructura de convertidor según la reivindicación 1, **caracterizada por que** cada circuito de recirculación comprende una inductancia de recirculación (Lr1, Lr2, Lr3, Lr4) y un diodo de recirculación (Dr1, Dr2, Dr3, Dr4).
3. Estructura de convertidor según una de las reivindicaciones 1 ó 2, **caracterizada por que** dichos primer y segundo arrollamientos primarios (Tr1-P, Tr2-P) están acoplados y por que la etapa secundaria (ES) comprende un único arrollamiento secundario y un rectificador conexas en dicho único arrollamiento secundario, estando dichos primer y segundo arrollamientos primarios y el único arrollamiento secundario acoplados sobre un mismo núcleo.
4. Estructura de convertidor según la reivindicación 3, **caracterizada por que** los primeros circuitos de ayuda a la conmutación (CAC1, CAC3) de las primera y segunda etapas de conversión comprenden inductancias de recirculación (Lr1, Lr3) acopladas entre sí, y por que los segundos circuitos de ayuda a la conmutación (CAC2, CAC4) de las primera y segunda etapas de conversión comprenden inductancias de recirculación (Lr2, Lr4) acopladas entre sí.
5. Estructura de convertidor según una de las reivindicaciones 1 a 2, **caracterizada por que** la etapa secundaria (ES) incluye unos primer y segundo arrollamientos secundarios (Tr1-S, Tr2-S) y unos primer y segundo rectificadores (D1, D2, D2', D1'; D3, D4, D4', D3') respectivamente conexas en dichos primer y segundo arrollamientos secundarios (Tr1-S; Tr2-S).
6. Estructura de convertidor según la reivindicación 5, **caracterizada por que** dichos primer y segundo arrollamientos secundarios (Tr1-S, Tr2-S) están conexas en serie.
7. Estructura de convertidor según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizada por** comprender varias etapas primarias conexas en serie, estando varias etapas secundarias conexas en paralelo en un mismo dispositivo de salida.
8. Estructura de convertidor según la reivindicación 7, **caracterizada por que** los gobiernos de dichas etapas primarias conexas en serie son independientes.
9. Estructura de convertidor según la reivindicación 7, **caracterizada por que** los gobiernos de dichas etapas primarias conexas en serie son sincronizados y escalonados.

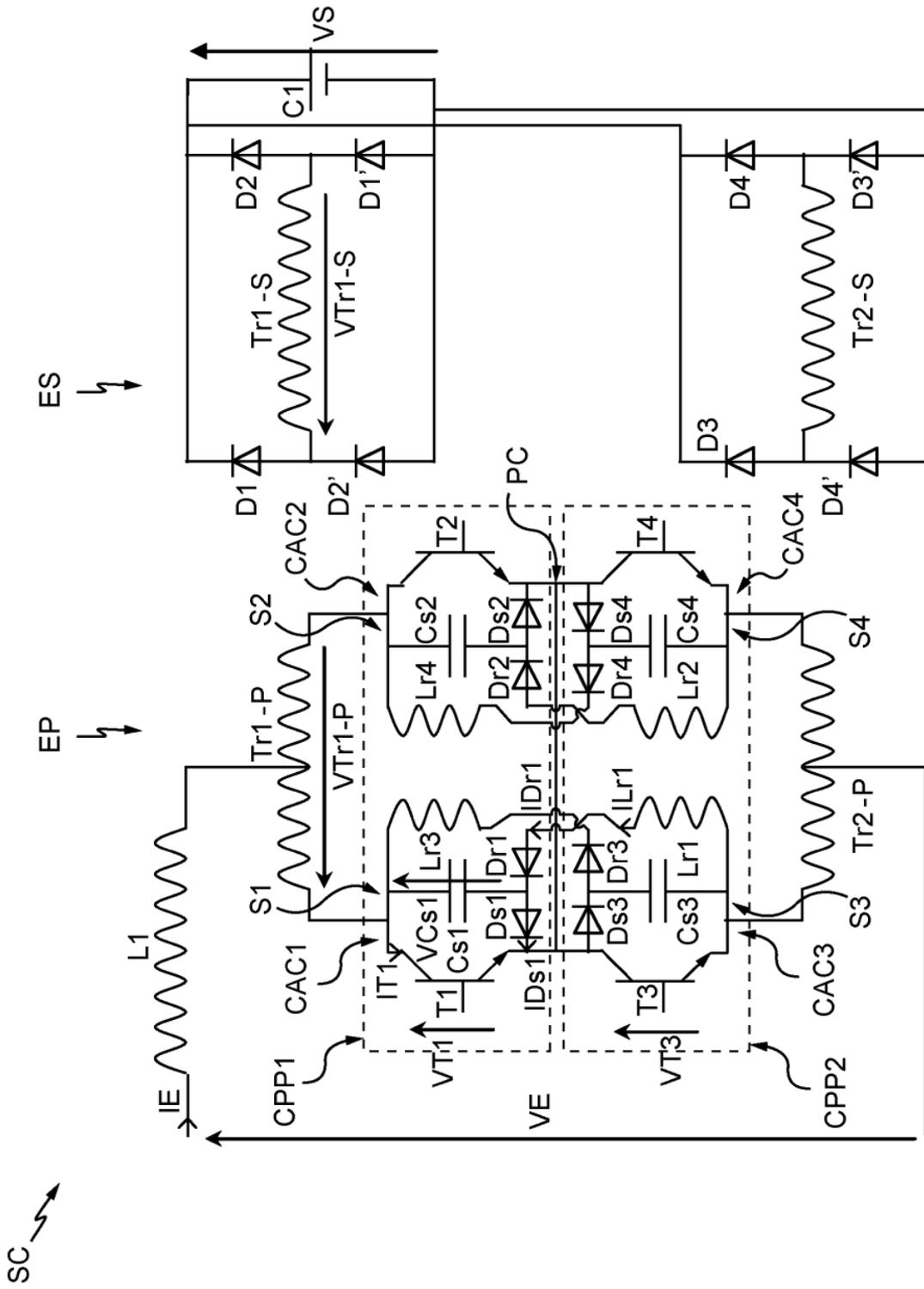
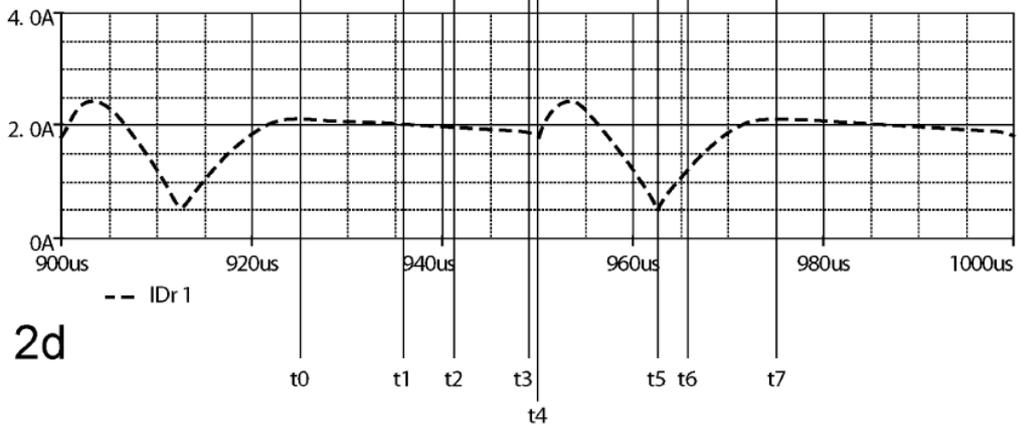
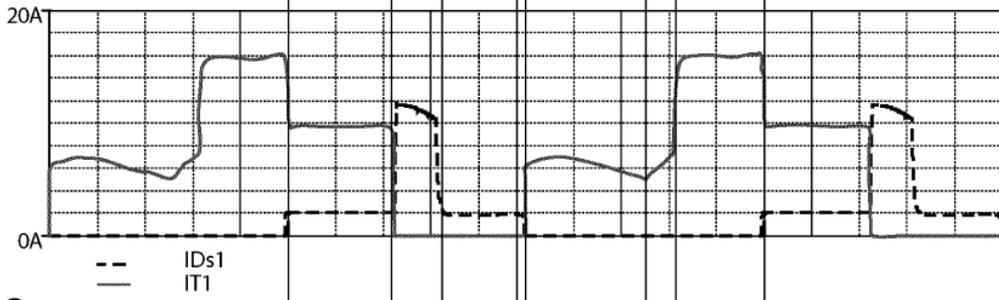
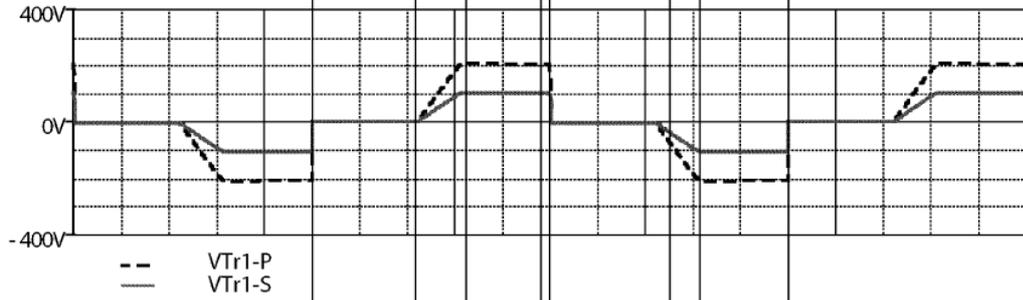
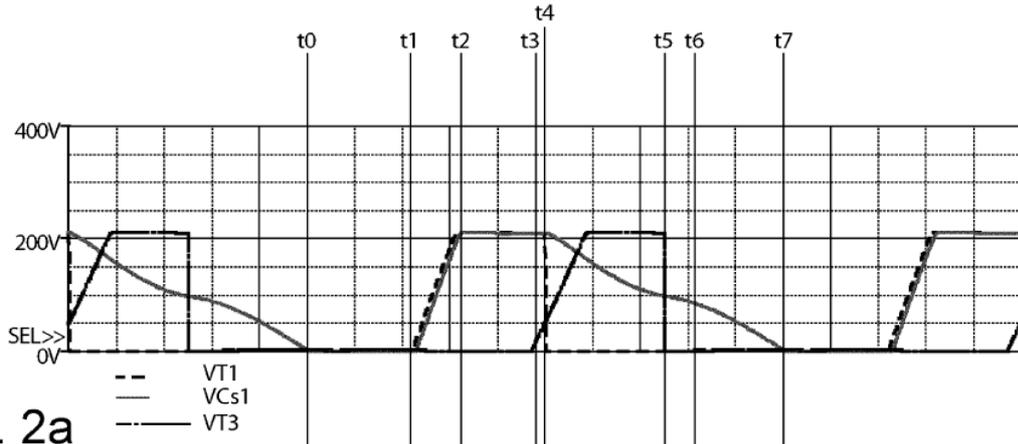


Fig. 1



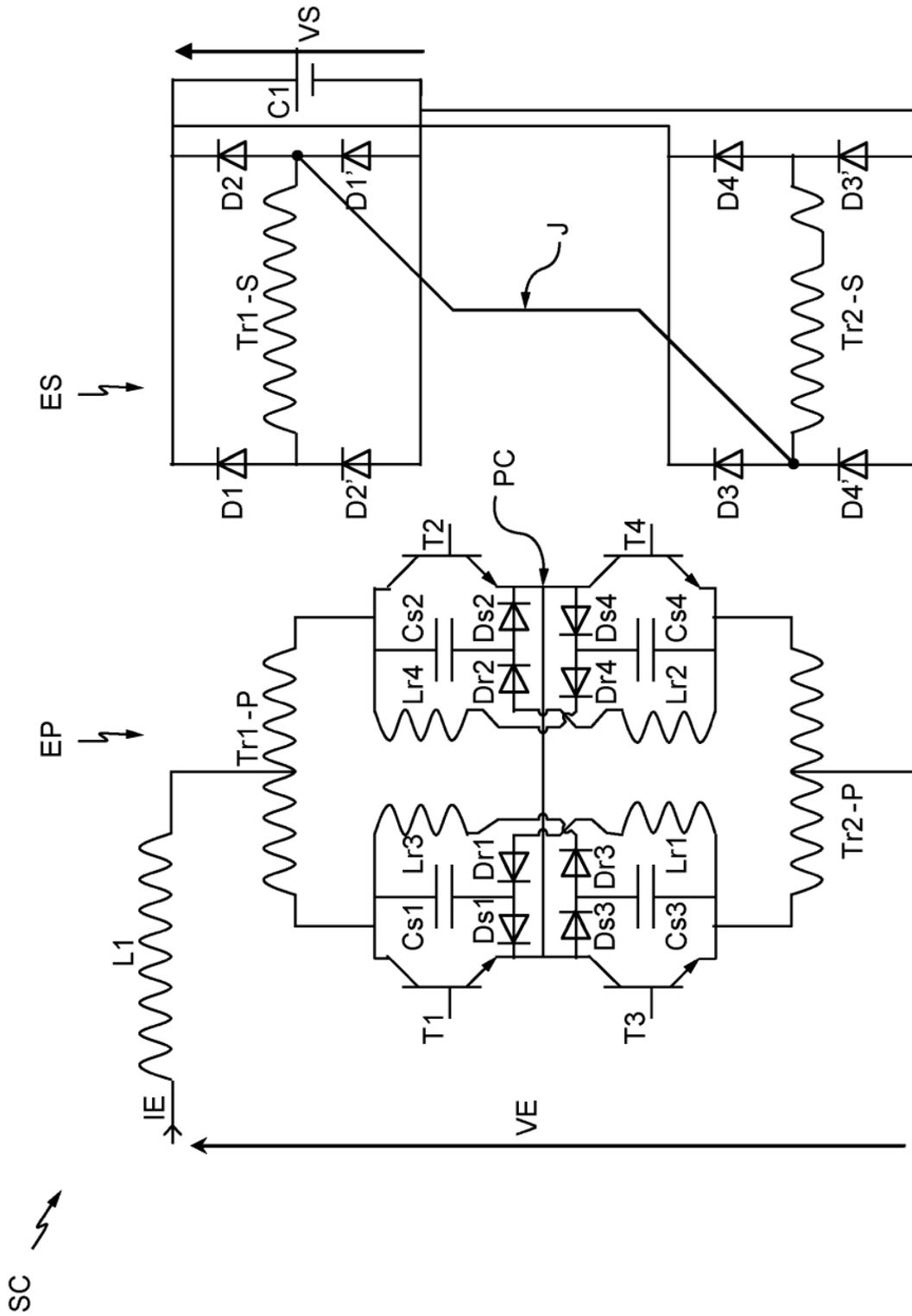


Fig. 3

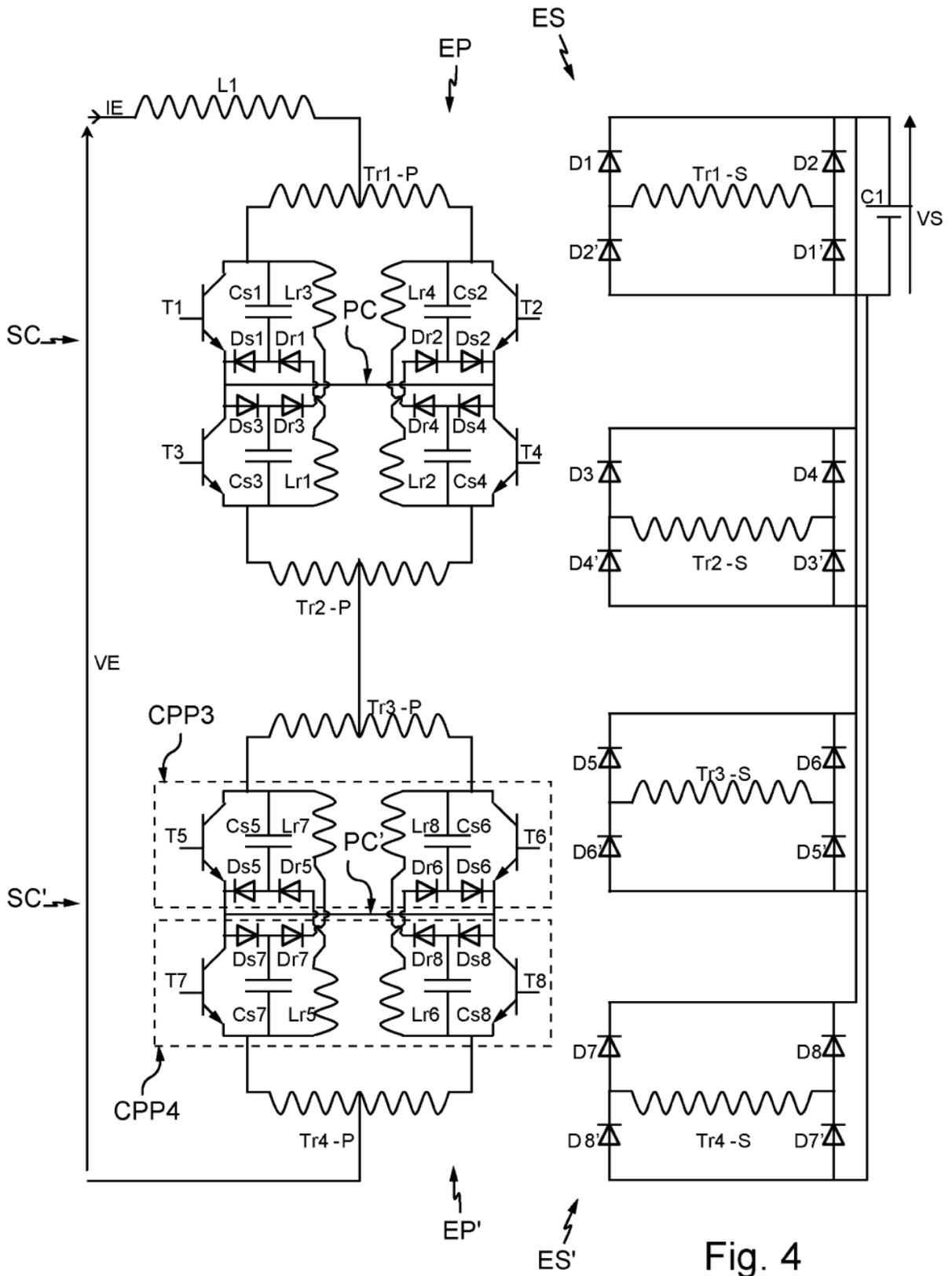


Fig. 4