

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 681 533**

51 Int. Cl.:

H02J 3/36 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.12.2010 PCT/CN2010/002001**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.06.2012 WO12075610**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.12.2010 E 10860520 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.04.2018 EP 2650998**

54 Título: **Estación convertidora en cascada y sistema de transmisión de energía de HVDC en cascada de múltiples extremidades**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.09.2018

73 Titular/es:
**STATE GRID CORPORATION OF CHINA (100.0%)
No.86 West Chang'an Street, Xicheng District
Beijing 100031, CN**

72 Inventor/es:
SUN, XIN

74 Agente/Representante:
ELZABURU, S.L.P

ES 2 681 533 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

Estación convertidora en cascada y sistema de transmisión de energía de HVDC en cascada de múltiples extremidades

Campo Técnico

5 Esta invención se refiere al campo de la transmisión de energía en CC, y más particularmente a una estación convertidora en cascada utilizada en la transmisión de energía de HDVC de múltiples terminales en cascada y a un sistema de transmisión de energía de HDVC en cascada constituido por dichas estaciones convertidoras en cascada.

Antecedentes

10 Con el desarrollo de las técnicas de energía y eléctricas, especialmente, el desarrollo de fabricación de rectificadores controlados de silicio (SCR) de alta potencia, la transmisión de energía en CC ha ganado aplicaciones cada vez más amplias en sistemas de energía eléctrica. Un sistema de transmisión de energía de HDVC de múltiples terminales en cascada está compuesto de tres o más estaciones convertidoras y una línea de transmisión de energía de CC, en donde más de una estación convertidora opera como una estación rectificadora o una estación inversora. Cuando se compara con un sistema de transmisión de energía de HDVC de dos terminales, en las siguientes situaciones, por ejemplo, un sistema de transmisión de energía de HDVC de múltiples terminales en cascada puede operar de una manera más económica y flexible: recogiendo energía eléctrica procedente de múltiples bases de energía eléctrica (por ejemplo centrales eólicas) situadas en un área grande para transmisión al exterior; transmitiendo una gran cantidad de electricidad desde una base de energía a varios centros de carga remotos; proporcionando acceso a fuentes de alimentación o cargas sobre ramas centrales de una línea de CC; realizando interconexiones asíncronas de varios sistemas de CA independientes a través de una línea de CC; para la transmisión de energía de áreas metropolitanas o centros industriales, transmitiendo energía de alimentación a varias estaciones convertidoras a través de transmisión de energía de CC, donde deben utilizarse cables debido a límites sobre corredores elevados de línea de energía, o la transmisión de energía de CA es inadecuada debido a límites sobre la capacidad de cortocircuito.

25 En un sistema de transmisión de energía de HVDC de múltiples terminales en cascada, es inevitable para dispositivos de alta tensión, tales como convertidores, reactores de alisado, filtros de CC, etc., que sufren los impactos de alta tensión, corriente elevada, el entorno natural y los sistemas de CA conectados tienen fallos. En el caso de la parte que ha fallado del sistema (tal como un convertidor en una cierta etapa), se desea desconectar dicha parte del sistema de manera fiable mientras se mantienen otras partes del sistema operando normalmente, de modo que se garantice la seguridad del sistema de transmisión de energía de HVDC y se mejore su disponibilidad de energía.

30 Los sistemas de HVDC son conocidos en general en la técnica. Por ejemplo, la solicitud de patente de China CN 101 882 792 A (10 de Noviembre de 2010) está relacionada con un método de conexión por cable para transmisión de energía de UHVDC y una estación convertidora de UHVDC.

35 Adicionalmente, la publicación que no es de patente "Main principle for Electrical Engineering Design of UHVDC Converter Station" (HU et al., SICHUAN ELECTRICAL POWER TECHNOLOGY, JP, vol. 31 n° 3, 1 de Junio de 2008, págs. 4-8, XP008171149) describe los principios fundamentales del diseño de ingeniería eléctrica de estaciones convertidoras de UHVDC.

Compendio

Esta invención está dirigida a resolver el problema anterior, y a proporcionar una técnica para realizar transmisión de energía de HVDC de una manera flexible, fiable y económica.

40 Con el fin de conseguir el anterior objeto se ha proporcionado una estación convertidora en cascada de acuerdo con las reivindicaciones.

45 De acuerdo con la presente invención, se ha proporcionado la estación convertidora en cascada utilizada en transmisión de energía de HVDC de múltiples terminales en cascada, que comprende: una estación convertidora de la extremidad de baja tensión que tiene un lado positivo y un lado negativo, cada uno de los cuales comprende un transformador convertidor acoplado a una primera red de corriente alterna (CA); una válvula convertidora acoplada al transformador convertidor para realizar la conversión de CC/CA; y reactores de alisado previstos en ambos extremos de la válvula convertidora; y una estación convertidora de la extremidad de alta tensión, que está conectada en serie a la estación convertidora de la extremidad de baja tensión a través de una línea de transmisión de energía de CC de media tensión, y está conectada a una línea de transmisión de energía de alta tensión, en donde la estación convertidora de la extremidad de alta tensión comprende un lado positivo y un lado negativo, cada uno de los cuales comprende un transformador convertidor acoplado a una segunda red de corriente alterna (CA); una válvula convertidora acoplada al transformador convertidor para realizar la conversión de CC/CA; y reactores de alisado previstos en ambos extremos de la válvula convertidora; en donde la tensión de CC generada por la estación convertidora de la extremidad de alta tensión es superpuesta con la tensión de CC emitida desde la estación convertidora de la extremidad de baja tensión para generar HVDC, que es a continuación transmitida al lado de recepción del sistema de transmisión de energía de HVDC.

55 De acuerdo con la invención, una línea de puesta a tierra acoplada a un electrodo de puesta a tierra, una línea de retorno

metálica acoplada entre una línea positiva y una línea negativa, y un interruptor de transferencia de retorno de puesta a tierra entre la línea de puesta a tierra y la línea de retorno metálica están previstas en la estación convertidora de la extremidad de baja tensión, de tal modo que cuando la válvula convertidora de la extremidad de baja tensión deja de funcionar, es derivada utilizando el interruptor de transferencia de retorno de puesta a tierra y la línea de retorno metálica.

5 De acuerdo con un aspecto de esta invención, se ha proporcionado una estación convertidora en cascada utilizada en transmisión de energía de HVDC de múltiples terminales en cascada, que comprende: una estación convertidora de la extremidad de baja tensión que comprende un lado positivo y un lado negativo, cada uno de los cuales comprende un transformador convertidor acoplado a una primera red de corriente alterna (CA); una válvula convertidora acoplada al transformador convertidor para realizar la conversión de CC/CA; y reactores de alisado previstos en ambos extremos de la válvula convertidora; y una estación convertidora de la extremidad de alta tensión, que está conectada en serie a la estación convertidora de la extremidad de baja tensión a través de una línea de transmisión de energía de CC de media tensión, y está conectada a una línea de transmisión de energía de CC de alta tensión, en donde la estación convertidora de la extremidad de alta tensión comprende un lado positivo y un lado negativo, cada uno de los cuales comprende un transformador convertidor acoplado a una segunda red de corriente alterna (CA); una válvula convertidora acoplada al transformador convertidor para realizar la conversión de CC/CA; y reactores de alisado previstos en ambos extremos de la válvula convertidora; en donde una línea de puesta a tierra acoplada a un electrodo de puesta a tierra y una línea de retorno metálica acoplada entre una línea positiva y una línea negativa están previstas en la estación convertidora de la extremidad de baja tensión, y una línea de puesta a tierra acoplada al electrodo de puesta a tierra está prevista en la estación convertidora de la extremidad de alta tensión.

20 De acuerdo con un aspecto de esta invención, se ha proporcionado una estación convertidora en cascada utilizada en transmisión de energía de HVDC de múltiples terminales en cascada, que comprende: una estación convertidora de la extremidad de baja tensión que comprende un lado positivo y un lado negativo, cada uno de los cuales comprende un transformador convertidor acoplado a una primera red de corriente alterna (CA); una válvula convertidora acoplada al transformador convertidor para realizar la conversión de CC/CA; y reactores de alisado previstos en ambos extremos de la válvula convertidora; y una estación convertidora de la extremidad de alta tensión, que está conectada en serie a la estación convertidora de la extremidad de baja tensión a través de una línea de transmisión de energía de CC de media tensión, y está conectada a una línea de transmisión de energía de CC de alta tensión, en donde la estación convertidora de la extremidad de alta tensión comprende un lado positivo y un lado negativo, cada uno de los cuales comprende un transformador convertidor acoplado a una segunda red de corriente alterna (CA); una válvula convertidora acoplada al transformador convertidor para realizar la conversión de CC/CA; y reactores de alisado previstos en ambos extremos de la válvula convertidora; en donde una línea de puesta a tierra acoplada al electrodo de puesta a tierra y una línea de retorno metálica acoplada entre una línea positiva y una línea negativa están previstas en la estación convertidora de la extremidad de baja tensión; una línea de puesta a tierra acoplada al electrodo de puesta a tierra y un interruptor de bus neutro están previstos en la estación convertidora de la extremidad de alta tensión.

35 De acuerdo con un aspecto de esta invención, se ha proporcionado una estación convertidora en cascada utilizada en transmisión de energía de HVDC de múltiples terminales en cascada, que comprende: una estación convertidora de la extremidad de baja tensión que comprende un lado positivo y un lado negativo, cada uno de los cuales comprende un transformador convertidor acoplado a una primera red de corriente alterna (CA); una válvula convertidora acoplada al transformador convertidor para realizar la conversión de CC/CA; y reactores de alisado previstos en ambos extremos de la válvula convertidora; y una estación convertidora de la extremidad de alta tensión, que está conectada en serie a la estación convertidora de la extremidad de baja tensión a través de una línea de transmisión de energía de CC de media tensión, y está conectada a una línea de transmisión de energía de CC de alta tensión, en donde la estación convertidora de la extremidad de alta tensión comprende un lado positivo y un lado negativo, cada uno de los cuales comprende un transformador convertidor acoplado a una segunda red de corriente alterna (CA); una válvula convertidora acoplada al transformador convertidor para realizar la conversión de CC/CA; y reactores de alisado previstos en ambos extremos de la válvula convertidora; en donde una línea de puesta a tierra acoplada al electrodo de puesta a tierra y una línea de retorno metálica acoplada entre una línea positiva y una línea negativa están previstas en la estación convertidora de la extremidad de baja tensión; una línea de puesta a tierra acoplada al electrodo de puesta a tierra, un interruptor de bus neutro, y un interruptor de cuchilla de aislamiento del bus neutro están previstos en la estación convertidora de la extremidad de alta tensión; y un trayecto para derivar la estación convertidora en cascada de la extremidad de alta tensión está acoplado entre la línea de transmisión de energía de CC de tensión media y la línea de transmisión de energía de CC de alta tensión.

De acuerdo con un aspecto de esta invención, se ha proporcionado un sistema de transmisión de energía de HVDC de múltiples terminales en cascada, que comprende: una estación convertidora del lado de envío, una estación convertidora del lado de recepción, y una línea de transmisión de energía de CC de alta tensión entre ellas, en donde al menos una de la estación convertidora del lado de envío y de la estación convertidora del lado de recepción está construida de acuerdo con la estación convertidora en cascada de la invención. Con la estación convertidora en cascada de esta invención y el sistema de transmisión de energía de HVDC de múltiples terminales en cascada formado por tales estaciones convertidoras en cascada, debido a que distintas combinaciones flexibles de una línea de puesta a tierra, una línea de retorno metálica, un dispositivo de bus neutro, y un interruptor de cuchilla de aislamiento están previstas en el cableado de la estación convertidora en cascada, otras partes del sistema pueden continuar su operación si tiene lugar un fallo en una cierta parte del sistema, de modo que la seguridad del sistema de transmisión de energía de HVDC y su disponibilidad de energía pueden ser mejoradas. Además, debido a que hay previstos reactores de alisado en ambos

lados de la válvula convertidora, el efecto de protección contra rayos puede ser conseguido de manera efectiva.

Breve descripción de las distintas vistas de los dibujos

- 5 Con el fin de comprender las anteriores características y ventajas de esta invención más claramente, se han mostrado en los dibujos adjuntos de una manera no restrictiva, realizaciones preferidas de esta invención, en donde las mismas etiquetas de referencia o etiquetas de referencia similares designan los mismos componentes o componentes similares.
- La fig. 1 es un diagrama esquemático de la estructura y cableado de una estación convertidora en cascada utilizada en la transmisión de energía de HVDC de múltiples terminales en cascada de acuerdo con un ejemplo antecedente;
- La fig. 2 muestra el cableado bipolar completo de la estación convertidora en cascada en su estado de operación normal;
- La fig. 3A–fig. 3C muestran el cableado bipolar en 3/4 partes de la estación convertidora en cascada;
- 10 La fig. 4A–fig. 4B muestran el cableado bipolar en una mitad de la estación convertidora en cascada;
- La fig. 5 muestra el cableado de retorno de puesta a tierra monopolar completo de la estación convertidora en cascada;
- Las figs. 6A-6B muestran el cableado de retorno de puesta a tierra monopolar en una mitad de la estación convertidora en cascada;
- La fig. 7 muestra el cableado de retorno metálico monopolar completo de la estación convertidora en cascada;
- 15 La fig. 8A y la fig. 8B muestran el cableado de retorno metálico monopolar en una mitad de la estación convertidora en cascada;
- La fig. 9 es un diagrama esquemático de la estructura y cableado de una estación convertidora en cascada utilizada en la transmisión de energía de HVDC de múltiples terminales en cascada de acuerdo con una realización de esta invención;
- 20 La fig. 10 muestra el cableado bipolar completo de la estación convertidora en cascada en su estado de operación normal de acuerdo con una realización de esta invención;
- La fig. 11A–fig. 11C muestran el cableado bipolar en 3/4 partes de la estación convertidora en cascada de la realización de esta invención;
- La fig. 12A–fig. 12B muestran el cableado bipolar en una mitad de la estación convertidora en cascada de la realización de esta invención;
- 25 La fig. 13 muestra el cableado de retorno de puesta a tierra monopolar completo de la estación convertidora en cascada de la realización de esta invención;
- La fig. 14A-14C muestra el cableado de retorno de puesta a tierra monopolar en una mitad de la estación convertidora en cascada de la realización de esta invención;
- 30 La fig. 15 muestra el cableado de retorno metálico monopolar completo de la estación convertidora en cascada de la realización de esta invención;
- La fig. 16A–fig. 16C muestran el cableado de retorno metálico monopolar en una mitad de la estación convertidora en cascada de la realización de esta invención;
- La fig. 17 muestra un primer esquema de cableado expandido de la estación convertidora en cascada de la realización de esta invención;
- 35 La fig. 18 muestra el cableado de retorno metálico monopolar de la estación convertidora de la extremidad de alta tensión en el primer esquema de cableado expandido de la realización de esta invención;
- La fig. 19 muestra un segundo esquema de cableado expandido de la estación convertidora en cascada de la realización de esta invención;
- 40 La fig. 20 muestra el cableado de retorno metálico monopolar de la estación convertidora de la extremidad de baja tensión en el segundo esquema de cableado expandido de la realización de esta invención;
- La fig. 21 es un diagrama esquemático de la estructura y cableado de una estación convertidora en cascada utilizada en la transmisión de energía de HVDC de múltiples terminales en cascada de acuerdo con otra realización de esta invención;
- 45 La fig. 22 muestra el cableado bipolar en 3/4 partes de la estación convertidora en cascada de la realización de esta invención;

La fig. 23 muestra el cableado bipolar de la estación convertidora de la extremidad de alta tensión en la estación convertidora en cascada de la realización de esta invención;

La fig. 24 muestra un esquema de cableado expandido de la estación convertidora en cascada de la realización de esta invención;

- 5 La fig. 25 es un diagrama esquemático de la estructura y cableado de una estación convertidora en cascada utilizada en la transmisión de energía de HVDC de múltiples terminales en cascada de acuerdo aún con otra realización de esta invención;

La fig. 26 muestra el cableado bipolar completo de la estación convertidora en su estado de operación normal de acuerdo con la realización de esta invención;

- 10 La fig. 27A-fig. 27B muestran el cableado bipolar en 3/4 partes de la estación convertidora en cascada de la realización de esta invención;

La fig. 28A-fig. 28B muestran el cableado bipolar en una mitad de la estación convertidora en cascada de la realización de esta invención;

- 15 La fig. 29 muestra el cableado de retorno de puesta a tierra monopolar completo de la estación convertidora en cascada de la realización de esta invención;

La fig. 30A y la fig. 30B muestran el cableado de retorno de puesta a tierra en una mitad de la estación convertidora en cascada de la realización de esta invención;

La fig. 31 muestra el cableado de retorno metálico monopolar completo de la estación convertidora en cascada de la realización de esta invención;

- 20 La fig. 32A y la fig. 32B muestran el cableado de retorno metálico monopolar en una mitad de la estación convertidora en cascada de la realización de esta invención;

La fig. 33 muestra un primer esquema de cableado expandido de la estación convertidora en cascada de la realización de esta invención;

- 25 La fig. 34 muestra un segundo esquema de cableado expandido de la estación convertidora en cascada de la realización de esta invención;

La fig. 35 muestra una configuración de filtro de CC opcional;

La fig. 36 muestra otra configuración de filtro de CC opcional;

La fig. 37 muestra aún otra configuración de filtro de CC opcional;

- 30 La fig. 38 muestra un sistema de transmisión de energía de HVDC de múltiples terminales en cascada de acuerdo con un ejemplo antecedente.

Descripción detallada

A continuación se dará una descripción detallada de realizaciones preferidas de esta invención con referencia a los dibujos, que son simplemente ilustrativos pero no limitativos del alcance de esta invención.

- 35 La fig. 1 es un diagrama esquemático de la estructura y cableado de una estación convertidora en cascada utilizada en la transmisión de energía de HVDC de múltiples terminales en cascada de acuerdo con un ejemplo antecedente. Con el propósito de simplificar esta descripción, la fig. 1 solamente muestra el lado de envío del sistema de transmisión de energía de HVDC, es decir, un diagrama esquemático del lado de rectificado. Sin embargo, los expertos en la técnica pueden comprender que el lado de recepción del sistema de transmisión de energía de HVDC, es decir, el lado inversor puede tener sustancialmente la misma estructura y cableado que los del lado de envío, pero una estación convertidora en el lado inversor en un estado de trabajo de inversión, y hay una ligera diferencia entre la configuración de filtro con el lado de rectificado.

- 40 Como se ha mostrado en la fig. 1, la estación convertidora en cascada comprende una estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión y una estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión, que pueden estar situadas en posiciones geográficas diferentes. La estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión está conectada a la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión en serie a través de la línea 13 de transmisión de energía de CC de media tensión. La estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión está además conectada a una línea 14 de transmisión de energía de CC de alta tensión.

- 45 La estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión es utilizada para convertir una corriente alterna generada por una primera fuente de alimentación 110 de corriente alterna a una corriente continua, e introducirla en la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión a través de la línea 13 de transmisión de energía de CC de media
- 50

tensión. La estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión convierte una corriente alterna generada por una segunda fuente de alimentación 120 de corriente alterna a una corriente continua, y la superpone con la corriente continua emitida desde la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión para generar una corriente continua de alta tensión, que es a continuación transmitida al lado de recepción, es decir, el lado inversor (no mostrado en la fig. 1) del sistema de transmisión de energía de HVDC a través de la línea 14 de transmisión de energía de CC de alta tensión. La primera fuente de alimentación 110 de corriente alterna y la segunda fuente de alimentación 120 de corriente alterna pueden ser centrales eólicas situadas en diferentes lugares. De tal modo que, la energía eléctrica recogida procedente de múltiples fuentes de alimentación de CA puede ser enviada hacia fuera en forma de CC.

La tensión de la corriente continua de alta tensión emitida desde la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión puede ser del orden de por encima de ± 750 kV, por ejemplo, la tensión de la corriente continua de alta tensión puede ser de ± 800 kV o ± 1000 kV. La presente descripción será dada en este documento con una corriente continua de alta tensión de ± 800 kV como ejemplo. En este caso, el intervalo de tensión de la corriente continua emitida desde la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión es preferiblemente la mitad de la corriente continua de alta tensión, es decir, ± 400 kV. La tensión de la corriente de la segunda fuente de alimentación 120 de corriente alterna rectificadas por la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión es también de ± 400 kV, de modo que la tensión de una corriente continua de alta tensión obtenida a través de la superposición de las dos corrientes alternas es de ± 800 kV.

El lado negativo de la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión comprende un transformador convertidor 111a acoplado a la primera fuente de alimentación 110 de CA. El transformador convertidor 111a es utilizado para cambiar la tensión de CA y realiza aislamiento eléctrico entre la parte de CA y la parte de CC en el sistema de transmisión de energía.

Una válvula convertidora 112a es acoplada al transformador convertidor 111a, que es utilizado para realizar la conversión de CA/CC. En la realización de esta invención, la válvula convertidora 112a es preferiblemente una válvula convertidora de 12 impulsos.

A cada lado de la válvula convertidora 112a, está previsto un reactor 115a de alisado. Los reactores 115a de alisado son utilizados para alisar rizados de CC en CC e impedir la interrupción de CC. El reactor 115a de alisado puede también impedir que ondas muy pendientes de impulso generadas por líneas de CC o dispositivos de CC entren en el hall de la válvula, e impedir por ello daños por exceso de corriente en la válvula convertidora 112a. Mediante la disposición de los reactores 115a de alisado a ambos lados de la válvula convertidora 112a, puede conseguirse de manera efectiva la protección contra rayos, de modo que la seguridad del sistema de tratamiento de potencia pueda ser mejorada.

En el esquema mostrado en la fig. 1, un filtro 117a de CC está además conectado a través de las dos extremidades de los reactores 115a de alisado, para filtrar la corriente armónica generada en el proceso de conversión de la válvula convertidora, de modo que impidan interferencias sobre el sistema causadas por la corriente armónica. De acuerdo con otro esquema opcional, pueden preverse interruptores de cuchilla de aislamiento en ambos lados del filtro 117a de CC.

Un interruptor de cuchilla 116a de aislamiento de derivación está previsto entre los reactores 115a de alisado, para proporcionar una derivación cuando ocurre un fallo en la válvula convertidora 112a. Un interruptor 113a de CA de derivación e interruptores de cuchilla 114a de aislamiento están además previstos cerca de la válvula convertidora 112a.

El lado positivo de la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión tiene una estructura simétrica a la estructura del lado negativo, y comprende un transformador convertidor 111b, una válvula convertidora 112b, reactores 115b de alisado, un filtro 117a de CC, un interruptor de cuchilla 116b de aislamiento de derivación, un interruptor 113b de CA de derivación e interruptores de cuchilla 114a de aislamiento, que no serán descritos en detalle en este documento ya que tienen las mismas funciones que los componentes del lado negativo.

La estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión tiene una estructura bipolar similar a la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión. Particularmente, la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión comprende: transformadores convertidores 121a, 121b acoplados a una segunda fuente de alimentación 120 de CA; válvulas convertidoras 122a, 122b acopladas a los transformadores convertidores 121a, 121b, reactores 125a de alisado y reactores 125b de alisado dispuestos en ambos lados de las válvulas convertidoras 122a, 122b, respectivamente; filtros 127a, 127b de CC a través de ambas extremidades de los reactores 125a de alisado y de los reactores 125b de alisado respectivamente; interruptores de cuchilla 126a, 126b de aislamiento de derivación previstos entre los reactores 125a de alisado y los reactores 125b de alisado respectivamente; e interruptores 123a, 123b de CA de derivación e interruptores de cuchilla 124a, 124b de aislamiento, que no serán descritos en detalle en este documento ya que tienen las mismas funciones que los componentes de la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión.

Incidentalmente, en la primera realización mostrada en la fig. 1, hay filtros de CC conectados a través de ambos lados de los reactores de alisado en la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión y en la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión respectivamente, y la corriente armónica a través de todo el sistema puede ser eliminada con tal configuración. Sin embargo, debería observarse que cuando se selecciona un esquema de cableado para el sistema de transmisión de energía de HVDC de múltiples terminales en cascada, puede seleccionarse una configuración de filtro de CC de manera razonable dependiendo de los requisitos de corriente de interferencia equivalente de un

proyecto. En caso de que se requiera satisfacer una norma acerca de la corriente de interferencia equivalente a lo largo de toda la línea, se adopta la configuración de prever un filtro de CC a través de ambos lados de los reactores de alisado; por otro lado, en el caso de permitir que la corriente principal de interferencia equivalente de toda la línea inferior a la estándar no sea estándar, pueden cancelarse los filtros de CC. A continuación, se describirá la configuración de los filtros de CC con más detalle más adelante.

En la estación convertidora en cascada una línea 126 de puesta a tierra acoplada a un electrodo de puesta a tierra y una línea 128 de retorno metálica que está acoplada entre la línea positiva y la línea negativa están previstas en la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión. El electrodo de puesta a tierra puede estar previsto a una distancia de 40-50 km de la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión. Además, interruptores de bus neutro (NBS) 119a, 119b, un interruptor de puesta a tierra de bus neutro (NBGS) 121, un interruptor de transferencia de retorno de puesta a tierra (GRTS) 120 y un interruptor de transferencia de retorno metálico (MRTS) 125 están previstos en el cableado de la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión. Los NBS 119a, 119b son utilizados para aislar rápidamente un polo que está bloqueado de detenerse y un polo normal. El NBGS 121 es utilizado para conmutar el bus neutro a una red de puesta a tierra temporal de la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión cuando el electrodo de puesta a tierra cesa en un modo bipolar. El MRTS 125 y el GRTS 120 cooperan entre sí para realizar la conmutación entre el retorno de puesta a tierra monopolar y el retorno metálico monopolar.

La estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión no tiene una línea de puesta a tierra acoplada al electrodo de puesta a tierra y una línea de retorno metálica establecida en ella.

La fig. 2 a la fig. 8 muestran siete maneras de cableado de operación de la anterior estación convertidora en cascada de acuerdo con la primera realización de esta invención respectivamente:

- (1) cableado de operación bipolar completo;
- (2) cableado de operación bipolar en 3/4 partes;
- (3) cableado de operación bipolar en una mitad;
- (4) cableado de retorno de puesta a tierra monopolar completo;
- (5) cableado de retorno de puesta a tierra monopolar en una mitad;
- (6) cableado de retorno metálico monopolar completo;
- (7) cableado de retorno metálico monopolar en una mitad;

En estos siete modos de cableado de operación, el cableado de operación bipolar completo es la manera de cableado en un estado de operación normal, y los otros son los que se producen en condiciones de fallo.

Con referencia a la fig. 2, se ha mostrado el cableado de operación bipolar completo en el estado de operación normal. Las partes activas de la estación convertidora en cascada están ilustradas por líneas gruesas. Cuatro válvulas convertidoras 112a, 112b, 122a, 122b en los polos positivo y negativo de la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión y en la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión son todas puestas en operación.

La fig. 3A a la fig. 3C muestran el cableado de operación bipolar en 3/4 partes. Esta manera de operación significa que, entre las cuatro válvulas convertidoras 112a, 112b, 122a, 122b en los polos positivo y negativo de la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión y en la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión, una cierta válvula convertidora que ha fallado deja de funcionar, mientras que otras tres válvulas convertidoras continúan funcionando.

La fig. 3A y la fig. 3B muestran un diagrama esquemático del cableado de operación cuando la válvula convertidora 112a de la extremidad de baja tensión deja de funcionar. Como se ha mostrado en la fig. 3A y en la fig. 3B, hay dos trayectos de derivación para la válvula convertidora 112a que está fuera de servicio: un circuito de GRTS y de retorno metálico, o un circuito con interruptores de cuchilla de aislamiento de derivación. Cuando ocurre un fallo en el reactor 115a de alisado o en el filtro 117a de CC de la válvula convertidora 112a de la extremidad de baja tensión, puede ser derivado utilizando el GRTS 120 y la línea de retorno metálica 128. En este caso, las válvulas convertidoras 122a, 122b sobre la extremidad de alta tensión están aún funcionando. Debido a que hay previstos disyuntores de CC para ambos de estos circuitos de retorno, la conmutación puede ser realizada en línea.

La fig. 3C muestra un diagrama esquemático del cableado de operación cuando la válvula convertidora 122a en la extremidad de alta tensión deja de funcionar. Como se ha mostrado en la fig. 3C, cuando la válvula convertidora 122a en la extremidad de alta tensión deja de funcionar, los reactores 125a de alisado a ambos lados de la válvula convertidora están aún conectados en el circuito de operación y no dejan de funcionar.

Las figs. 4A y la fig. 4B muestran el cableado de operación bipolar en una mitad. Esta manera de operación significa que una estación convertidora de entre la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión y la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión deja de funcionar debido a un fallo, mientras que los polos positivo y negativo de la

otra estación convertidora continúan funcionando.

La fig. 4A muestra un diagrama esquemático del cableado de operación cuando las válvulas convertidoras 122a y 122b en la extremidad de alta tensión dejan de funcionar. Como se ha mostrado en la fig. 4A, cuando las válvulas convertidoras 122a y 122b en la extremidad de alta tensión dejan de funcionar, los reactores 125a y 125b de alisado en ambos lados de las válvulas convertidoras están aún conectados en el circuito de operación y no dejan de funcionar.

La fig. 4B muestra un diagrama esquemático del cableado de operación cuando las válvulas convertidoras 112a y 112b en la extremidad de baja tensión dejan de funcionar. Como se ha mostrado en la fig. 4B, cuando la válvula convertidora 112b en la extremidad de baja tensión deja de funcionar, los reactores 115b de alisado en ambos lados de la válvula convertidora están aún conectados en el circuito de operación y no dejan de funcionar.

La fig. 5 muestra el cableado de retorno de puesta a tierra monopolar completo. Esta manera de operación significa que entre los polos positivo y negativo de la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión y la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión, las válvulas convertidoras de un polo dejan de funcionar debido a un fallo, mientras que las válvulas convertidoras del otro polo (incluyendo la extremidad de alta tensión y la extremidad de baja tensión) continúan aún funcionando, y se forma un circuito de retorno a través de la puesta a tierra. La fig. 5 muestra un estado en el que la válvula convertidora 112b de la extremidad de baja tensión y la válvula convertidora 122b de la extremidad de alta tensión del polo positivo dejan de funcionar, mientras que la válvula convertidora 112a de la extremidad de baja tensión y la válvula convertidora 122a de la extremidad de alta tensión del polo negativo continúan funcionando.

La fig. 6A y la fig. 6B muestran el cableado de retorno de puesta a tierra monopolar en una mitad. Esta manera de operación significa que entre la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión y la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión, las válvulas convertidoras de una estación convertidora (incluyendo los polos positivo y negativo) dejan de funcionar debido a un fallo, mientras que la válvula convertidora de un polo en la otra estación convertidora continúa funcionando, y se forma un circuito de retorno a través de la tierra.

La fig. 6A muestra un diagrama esquemático del cableado de operación cuando las válvulas convertidoras 122a y 122b de la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión dejan de funcionar, mientras que solamente la válvula convertidora 112a del polo negativo en la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión continúa funcionando. Como se ha mostrado en la fig. 6A, cuando las válvulas convertidoras 122a de la extremidad de alta tensión dejan de funcionar, los reactores 125a de alisado en ambos lados de la válvula convertidora están aún conectados en el circuito de operación y no dejan de funcionar.

La fig. 6B muestra un diagrama esquemático del cableado de operación cuando las válvulas convertidoras 112a y 112b de la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión dejan de funcionar, mientras que solamente la válvula convertidora 122a del polo negativo en la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión continúa funcionando.

La fig. 7 muestra el cableado de retorno metálico monopolar completo. Esta manera de operación significa que entre los polos positivo y negativo de la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión y la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión, las válvulas convertidoras de un polo dejan de funcionar debido a un fallo, mientras que las válvulas convertidoras del otro polo (incluyendo la extremidad de alta tensión y la extremidad de baja tensión) continúan aún funcionando, y se forma un circuito de retorno a través de una línea metálica. La fig. 7 muestra un estado en el que la válvula convertidora 112b de la extremidad de baja tensión y la válvula convertidora 122b de la extremidad de alta tensión del polo positivo dejan de funcionar, mientras que la válvula convertidora 112a de la extremidad de baja tensión y la válvula convertidora 122a de la extremidad de alta tensión del polo negativo continúan funcionando.

La fig. 8A y la fig. 8B muestran el cableado de retorno metálico monopolar en una mitad. Este modo de operación significa que entre la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión y la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión, las válvulas convertidoras de una estación convertidora (incluyendo los polos positivo y negativo) dejan de funcionar debido a un fallo, mientras que sólo la válvula convertidora de un polo en la otra estación convertidora continúa funcionando, y se forma un circuito de retorno a través de una línea metálica.

La fig. 8A muestra un diagrama esquemático del cableado de operación cuando las válvulas convertidoras 122a y 122b de la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión dejan de funcionar, mientras que solamente la válvula convertidora 112a del polo negativo en la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión continúa funcionando. Como se ha mostrado en la fig. 8A, cuando la estación convertidora 122a y 122b de la extremidad de alta tensión dejan de funcionar, los reactores 125a y 125b de alisado en ambos lados de las válvulas convertidoras están aún conectados en el circuito de operación y no dejan de funcionar.

La fig. 8B muestra un diagrama esquemático del cableado de operación cuando las válvulas convertidoras 112a y 112b de la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión dejan de funcionar, mientras que solamente la válvula convertidora 122a del polo negativo en la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión continúa funcionando. Como se ha mostrado en la fig. 8B, cuando la válvula convertidora 122b de la extremidad de alta tensión y la válvula convertidora 112a de la extremidad de baja tensión dejan de funcionar, los reactores 125b y 115a de alisado en ambos lados de las válvulas convertidoras están aún conectados en el circuito de operación y no dejan de funcionar.

5 Las ventajas de los esquemas de cableado de la estación convertidora en cascada de acuerdo con la primera realización de esta invención están representadas con referencia a la fig. 1 a la fig. 8 son: cuando una válvula convertidora en la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión deja de funcionar, se consigue una derivación en línea utilizando una línea de retorno metálico o un interruptor de cuchilla de aislamiento de derivación, para proporcionar flexibilidad de control. El circuito tiene un menor número de elementos, y así mayor fiabilidad. Además, en comparación con el sistema de transmisión de energía de HVDC de Xiang jiaba – Shang hai en la técnica anterior, debido a que la línea 128 de retorno metálico está prevista en la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión, la misma función es realizada con un menor nivel de aislamiento de lo que se requiere para los dispositivos.

10 En los esquemas de cableado de la estación convertidora en cascada de acuerdo con la primera realización de esta invención, si ocurre un fallo en la línea de CC de media tensión de un solo polo, o en dispositivos de bus neutro de un solo polo en la estación convertidora de baja tensión (NBS, el interruptor de cuchilla de aislamiento, CT, PT y otros dispositivos), solamente es posible la operación de retorno de puesta a tierra monopolar. Si ocurre un fallo en las líneas de media tensión de los dos polos, los dos polos han de detener la operación. Para mejorar la disponibilidad de energía, de acuerdo con una segunda realización de esta invención, se ha proporcionado otra estación convertidora en cascada.

15 La fig. 9 es un diagrama esquemático de la estructura y cableado de una estación convertidora en cascada utilizada en la transmisión de energía de HVDC de múltiples terminales en cascada de acuerdo con una realización de esta invención.

En comparación con la primera realización, en la estación convertidora en cascada una línea 133 de puesta a tierra acoplada a un electrodo de puesta a tierra está establecida en la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión. Además, se han añadido interruptores de cuchilla 137a, 137b de aislamiento de bus neutro.

20 De manera similar a la primera realización, la fig. 10 a la fig. 16 muestran siete maneras de cableado de operación de la estación convertidora en cascada de acuerdo con la tercera realización de esta invención respectivamente:

- (1) cableado de operación bipolar completo;
- (2) cableado de operación bipolar en 3/4 partes;
- (3) cableado de operación bipolar en una mitad;
- 25 (4) cableado de retorno de puesta a tierra monopolar completo;
- (5) cableado de retorno de puesta a tierra monopolar en una mitad;
- (6) cableado de retorno metálico monopolar completo;
- (7) cableado de retorno metálico monopolar en una mitad;

30 Con referencia a la fig. 10, se ha mostrado el cableado de operación de bipolar completo en un estado de operación normal. Cuatro válvulas convertidoras 112a, 112b, 122a, 122b en los polos positivo y negativo de la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión y en la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión son todas puestas en operación.

La fig. 11A a la fig. 11C muestran el cableado de operación bipolar en 3/4 partes.

35 La fig. 11A muestra un diagrama esquemático del cableado de operación cuando la válvula convertidora 122a de la extremidad de alta tensión deja de funcionar. Como se ha mostrado en la fig. 11A, cuando la válvula convertidora 122a de la extremidad de alta tensión deja de funcionar, los reactores 125a de alisado en ambos lados de la válvula convertidora están aún conectados en el circuito de operación y no dejan de funcionar.

40 La fig. 11B y la fig. 11C muestran un diagrama esquemático del cableado de operación cuando la válvula convertidora 112a de la extremidad de baja tensión deja de funcionar. Como se ha mostrado en la fig. 11B y en la fig. 11C, hay dos trayectos de derivación para la válvula convertidora 112a fuera de servicio: GRTS y un circuito de retorno metálico, o un circuito con interruptores de cuchilla de aislamiento de derivación. Cuando ocurre un fallo en el reactor 115a de alisado o en el filtro 117a de CC de la válvula convertidora 112a de la extremidad de baja tensión, puede ser derivado utilizando el GRTS 120 y la línea de retorno metálica 128.

La fig. 12A y la fig. 12B muestran el cableado de operación bipolar en una mitad.

45 La fig. 12A muestra un diagrama esquemático del cableado de operación cuando las válvulas convertidoras 122a y 122b de la extremidad de alta tensión dejan de funcionar. Como se ha mostrado en la fig. 12A, cuando las válvulas convertidoras 122a y 122b de la extremidad de alta tensión dejan de funcionar, los reactores 125a y 125b de alisado en ambos lados de las válvulas convertidoras están aún conectados en el circuito de operación y no dejan de funcionar.

50 La fig. 12B muestra un diagrama esquemático del cableado de operación cuando las válvulas convertidoras 112a y 112b de la extremidad de baja tensión dejan de funcionar. Como se ha mostrado en la fig. 12B, cuando las válvulas convertidoras 112a y 112b de la extremidad de baja tensión dejan de funcionar, los reactores 115a y 115b de alisado en

ambos lados de la válvula convertidora están aún conectados en el circuito de operación y no dejan de funcionar.

La fig. 13 muestra el cableado de retorno de puesta a tierra monopolar completo, en el que la válvula convertidora 112b de la extremidad de baja tensión y la válvula convertidora 122b de la extremidad de alta tensión del polo positivo dejan de funcionar, mientras que la válvula convertidora 112a de la extremidad de baja tensión y la válvula convertidora 122a de la extremidad de alta tensión del polo negativo continúan funcionando.

La fig. 14A a la fig. 14C muestran el cableado de retorno de puesta a tierra monopolar en una mitad.

La fig. 14A muestra un diagrama esquemático del cableado de operación cuando las válvulas convertidoras 122a y 122b de la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión dejan de funcionar, mientras que solamente la válvula convertidora 112a del polo negativo en la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión continúa funcionando. Como se ha mostrado en la fig. 14A, cuando la estación convertidora 122a de la extremidad de alta tensión deja de funcionar, los reactores 125a de alisado en ambos lados de la válvula convertidora están aún conectados en el circuito de operación y no dejan de funcionar.

La fig. 14B y la fig. 14C muestran un diagrama esquemático del cableado de operación cuando las válvulas convertidoras 112a y 112b de la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión dejan de funcionar, mientras que solamente la válvula convertidora 122a del polo negativo de la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión continúa funcionando.

La fig. 15 muestra el cableado de retorno metálico monopolar completo, en el que la válvula convertidora 112b de la extremidad de baja tensión y la válvula convertidora 122b de la extremidad de alta tensión del polo positivo dejan de funcionar, mientras que la válvula convertidora 112a de la extremidad de baja tensión y la válvula convertidora 122a de la extremidad de alta tensión del polo negativo continúan funcionando.

La fig. 16A a la fig. 16C muestran el cableado de retorno metálico monopolar en una mitad.

La fig. 16A muestra un diagrama esquemático del cableado de operación cuando las válvulas convertidoras 122a y 122b de la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión dejan de funcionar, mientras que solamente la válvula convertidora 112a del polo negativo de la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión continúa funcionando. Como se ha mostrado en la fig. 16A, cuando la estación convertidora 122a y 122b de la extremidad de alta tensión dejan de funcionar, los reactores 125a y 125b de alisado en ambos lados de las válvulas convertidoras están aún conectados en el circuito de operación y no dejan de funcionar.

La fig. 16B, la fig. 16C muestran un diagrama esquemático del cableado de operación cuando las válvulas convertidoras 112a y 112b de la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión dejan de funcionar, mientras que solamente la válvula convertidora 122a del polo negativo de la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión continúa funcionando. Como se ha mostrado en la fig. 16B y en la fig. 16C, cuando la válvula convertidora 122b de la extremidad de alta tensión deja de funcionar, los reactores 125b de alisado en ambos lados de la válvula convertidora están aún conectados en el circuito de operación y no dejan de funcionar.

La disponibilidad de energía de la estación convertidora en cascada de acuerdo con esta realización es mayor que la del ejemplo de la fig. 1. Cuando ocurre un fallo en las líneas de media tensión de los dos polos de la estación convertidora de la extremidad de baja tensión en los dispositivos de bus neutro (NBS, NBGS, interruptor de cuchilla de aislamiento, y otros dispositivos) de los dos polos, la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión deja de funcionar, y la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión opera por medio de una línea de retorno metálica o una línea de retorno de puesta a tierra de un solo polo.

Basado en los esquemas de cableado de la estación convertidora en cascada de la segunda realización, pueden obtenerse otros esquemas de cableado a través de expansión según los requisitos particulares del proyecto.

La fig. 17 muestra un primer esquema de cableado expandido en el que una línea 138 de retorno metálico es añadida en la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión. Cuando la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión está en operación de retorno metálico monopolar, los reactores 125b de alisado y el filtro 127b de CC del otro polo en la estación pueden ser derivados, como se ha mostrado en la fig. 18.

La fig. 19 muestra un segundo esquema de cableado expandido en el que se han añadido trayectos 139a y 139b de derivación de la estación convertidora en la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión. La estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión puede operar incluso si ocurre un fallo en los reactores de alisado o en el filtro de CC de la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión, como se ha mostrado en la fig. 20, en la que se ha mostrado el cableado de retorno de puesta a tierra monopolar de la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión

En el ejemplo de la fig. 1, en el estado de retorno de puesta a tierra de doble polo o monopolar, si ocurre un fallo en los reactores de alisado, en el filtro de CC, o en el interruptor de cuchilla de aislamiento de derivación de un solo polo de la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión, puede ser derivado utilizando la línea de retorno metálico y el GRTS; sin embargo, si ocurre un fallo en un solo polo en la línea de transmisión de energía de CC de 400 kV de media

tensión o en dispositivos de bus neutro de un solo polo tales como NBS, CT, PT y el interruptor de cuchilla de aislamiento de un solo polo (fallo N-1), ese polo ha de ser detenido, y no puede realizarse la operación de CC de un solo polo. Para mejorar además la disponibilidad de energía, de acuerdo con una tercera realización de esta invención, se ha proporcionado otra estación convertidora en cascada.

5 La fig. 21 es un diagrama esquemático de la estructura y cableado de una estación convertidora en cascada utilizada en la transmisión de energía de HVDC de múltiples terminales en cascada de acuerdo con otra realización de esta invención.

En comparación con una realización de la fig. 9, sobre la base de añadir un interruptor de cuchilla de aislamiento de bus neutro, dos disyuntores NBS 140a, 140b y dos interruptores de cuchilla 141a, 141b de aislamiento de bus neutro son añadidos adicionalmente.

10 Con el cableado de la tercera realización, cuando ocurre un fallo N-1, es decir, un fallo de un solo polo de la línea de transmisión de energía de CC de media tensión de 400 kV o un fallo en los dispositivos de bus neutro tales como NBS, CT, PT y el interruptor de cuchilla de aislamiento de un solo polo, la estación convertidora en cascada puede operar en un estado de doble polo en 3/4 partes, como se ha mostrado en la fig. 22.

15 Cuando ocurre un fallo N-2, es decir, cuando ocurre un fallo en las líneas de media tensión de los dos polos o la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión está en servicio apagada, la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión puede operar en el estado de doble polo, de retorno metálico monopolar, o de retorno de puesta a tierra monopolar para mejorar la disponibilidad de energía del sistema. Debido a que los NBS 140a, 140b están previstos en la línea de bus neutro de la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión, cuando la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión está en mantenimiento y la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión opera en el estado de doble polo, no es necesario detener la operación de doble polo si ocurre un fallo de un solo polo, como se ha mostrado en la fig. 23, en que el cableado de operación de doble polo de la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión ha sido mostrado.

20 Basado en el esquema de cableado de esta realización, si se requiere que la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión conmute en línea entre el retorno de puesta a tierra de un solo polo y el retorno de línea metálica de un solo polo, para operar sin pasar a través de la línea de retorno metálico separada de la otra estación convertidora y operar en el estado bipolar utilizando una puesta a tierra temporal de la estación convertidora, puede adoptarse el esquema de cableado expandido mostrado en la fig. 24, en el que una línea 138 de retorno metálico y los MRTB 143, GRTS 142, NGBS 144 son añadidos en la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión.

25 Fig. 25 es un diagrama esquemático de la estructura y cableado de una estación convertidora en cascada utilizada en la transmisión de energía de HVDC de múltiples terminales en cascada de acuerdo aún con otra realización de esta invención.

En comparación con la realización de la fig. 21, en la estación convertidora en cascada de esta realización, los trayectos 139a, 139b de derivación para derivar la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión son acoplados entre la línea 13 de transmisión de energía de CC de media tensión y la línea 14 de transmisión de energía de CC de alta tensión. Hay previstos interruptores de cuchilla de aislamiento de 800 kV entre los reactores 125a, 125b de alisado y la línea 14 de transmisión de energía de CC de alta tensión, y en los trayectos 139a, 139b de derivación.

Las figs. 26 a 32 muestran siete modos de cableado de operación de la estación convertidora en cascada anterior de acuerdo con una realización actualmente descrita de esta invención respectivamente:

- 40 (1) cableado de operación bipolar completo;
- (2) cableado de operación bipolar en 3/4 partes;
- (3) cableado de operación bipolar en una mitad;
- (4) cableado de retorno de puesta a tierra monopolar completo;
- (5) cableado de retorno de puesta a tierra monopolar en una mitad;
- 45 (6) cableado de retorno metálico monopolar completo;
- (7) cableado de retorno metálico monopolar en una mitad;

En los siete modos de cableado de operación, el cableado de operación bipolar completo es un modo de cableado en el estado de operación normal, y los otros modos de cableado de operación son los que existen en estados de fallo.

50 Con referencia a la fig. 26, se ha mostrado el cableado de operación de bipolar completo en un estado de operación normal. Cuatro válvulas convertidoras 112a, 112b, 122a, 122b en los polos positivo y negativo de la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión y en la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión son todas puestas en operación.

- La fig. 27A, la fig. 27B muestran el cableado de operación bipolar en 3/4 partes. La fig. 27A muestra un diagrama esquemático del cableado de operación cuando la válvula convertidora 122a de la extremidad de baja tensión deja de funcionar. La fig. 27B muestra un diagrama esquemático del cableado de operación cuando la válvula convertidora 122a de la extremidad de alta tensión deja de funcionar. Como se ha mostrado en la fig. 27B, cuando la válvula convertidora 122a de la extremidad de alta tensión deja de funcionar, se forma un bucle de retorno a través del trayecto 139a de derivación y los reactores 125a de alisado, etc., no están conectados en el circuito de operación.
- La fig. 28A y la fig. 28B muestran el cableado de operación bipolar en una mitad. La fig. 28A muestra un diagrama esquemático del cableado de operación cuando las válvulas convertidoras 122a y 122b de la extremidad de alta tensión dejan de funcionar. Como se ha mostrado en la fig. 28A, cuando las válvulas convertidoras 122a y 122b de la extremidad de alta tensión dejan de funcionar, se forma un bucle de retorno a través de los trayectos de derivación 139a, 139b, y los reactores 125a y 125b de alisado etc., no están conectados en el circuito de operación. La fig. 28B muestra un diagrama esquemático del cableado de operación cuando las válvulas convertidoras 122a y 122b de la extremidad de baja tensión dejan de funcionar.
- La fig. 29 muestra el cableado de retorno de puesta a tierra monopolar completo, en el que la válvula convertidora 112b de la extremidad de baja tensión y la válvula convertidora 122b de la extremidad de alta tensión del polo positivo dejan de funcionar, mientras que la válvula convertidora 112a de la extremidad de baja tensión y la válvula convertidora 122a de la extremidad de alta tensión del polo negativo continúan funcionando.
- La fig. 30A y la fig. 30B muestran el cableado de retorno de puesta a tierra monopolar en una mitad.
- La fig. 30A muestra un diagrama esquemático del cableado de operación cuando las válvulas convertidoras 122a y 122b de la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión dejan de funcionar, mientras que solamente la válvula convertidora 112a del polo negativo en la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión continúa funcionando. Como se ha mostrado en la fig. 30A, cuando la estación convertidora 122a de la extremidad de alta tensión deja de funcionar, se forma un bucle de retorno a través del trayecto 139a de derivación y de la línea 126 de puesta a tierra, y los reactores 125a de alisado etc., no están conectados en el circuito de operación.
- La fig. 30B muestra un diagrama esquemático del cableado de operación cuando las válvulas convertidoras 112a y 112b de la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión dejan de funcionar, mientras que solamente la válvula convertidora 122a del polo negativo en la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión continúa funcionando.
- La fig. 31 muestra el cableado de retorno metálico monopolar completo, en el que la válvula convertidora 112b de la extremidad de baja tensión y la válvula convertidora 122b de la extremidad de alta tensión del polo positivo dejan de funcionar, mientras que la válvula convertidora 112a de la extremidad de baja tensión y la válvula convertidora 122a de la extremidad de alta tensión del polo negativo continúan funcionando. Como se ha mostrado en la fig. 31, cuando la válvula convertidora 122b de la extremidad de alta tensión deja de funcionar, se forma un bucle de retorno a través del trayecto 139b de derivación y de la línea 128 de retorno metálico, y los reactores 125b de alisado, etc. no están conectados en el circuito de operación.
- La fig. 32A y la fig. 32B muestran el cableado de retorno metálico monopolar en una mitad. La fig. 32A muestra un diagrama esquemático del cableado de operación cuando las válvulas convertidoras 122a y 122b de la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión dejan de funcionar, mientras que solamente la válvula convertidora 112a del polo negativo de la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión continúa funcionando. Como se ha mostrado en la fig. 32A, cuando la estación convertidora 122a y 122b de la extremidad de alta tensión deja de funcionar, se forma un bucle de retorno a través de los trayectos 139a, 139b la línea 128 de retorno metálica, y los reactores 125a y 125b de alisado, etc. no están conectados en el circuito de operación.
- La fig. 32B muestra un diagrama esquemático del cableado de operación cuando las válvulas convertidoras 112a y 112b de la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión dejan de funcionar, mientras que solamente la válvula convertidora 122a del polo negativo en la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión continúa funcionando.
- La ventaja de esta realización es que la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión y la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión pueden funcionar de manera independiente sin interferencia entre ellas (por ejemplo, en reparación o revisión de la estación convertidora), de modo que puede mejorarse la disponibilidad de energía. Cuando ocurre un fallo en los reactores de alisado y en el filtro de CC de la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión, la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión del mismo polo puede operar de manera continua, sin interrupción de un solo polo.
- Basado en el esquema de cableado de la estación convertidora en cascada de la cuarta realización, pueden obtenerse otros esquemas de cableado expandidos, como se ha mostrado en la fig. 33 y en la fig. 34.
- La fig. 33 muestra un primer esquema de cableado expandido basado en la realización anterior, en el que los MRTB 143 y NBGS 144 están instalados en la línea de puesta a tierra de la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión, y los interruptores de cuchilla 130a, 130b de aislamiento están previstos cerca de los reactores de alisado. De acuerdo con este esquema de cableado, la conmutación en línea entre el modo de retorno de puesta a tierra monopolar y el modo de retorno metálico monopolar de la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión puede ser

conseguida sin pasar a través de los reactores de alisado de la otra estación convertidora, y puede conseguirse una operación de doble polo utilizando una puesta a tierra temporal de la estación convertidora.

La fig. 34 muestra un segundo esquema de cableado expandido basado en la realización anterior, en el que los MRTB 143 y NBGS 144 están instalados en la línea de puesta a tierra de la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión. De acuerdo con este esquema de cableado, puede conseguirse la conmutación en línea entre el modo de retorno de puesta a tierra monopolar y el modo de retorno metálico monopolar de la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión, y puede conseguirse una operación de doble polo utilizando una puesta a tierra temporal de la estación convertidora. De manera diferente a la fig. 33, no hay previstos interruptores de cuchilla 130a y 130b de aislamiento cerca de los reactores de alisado, en la operación metálica monopolar de una estación convertidora de polo, se requiere una rama del reactor de alisado de la otra estación convertidora.

En las estaciones convertidoras en cascada de todas las realizaciones y su combinación de estructuras expandidas con las figs. 1-34, los filtros de CC son conectados a través de las dos extremidades de los reactores de alisado en la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión y en la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión. Sin embargo, esta configuración de filtro de CC es simplemente un esquema preferible pero no una limitación. Las Figs. 35-37 muestran otras tres configuraciones alternativas de filtro de CC, que pueden ser combinadas con distintas maneras de cableado de las estaciones convertidoras en cascada de la primera a terceras realizaciones mostradas en la fig. 1 a la fig. 34 apropiadamente (para sustituir en ellas los filtros de CC). Cuando se selecciona un esquema de cableado para un sistema de transmisión de energía de HVDC de múltiples terminales en cascada, puede seleccionarse una configuración de filtro de CC de manera razonable de acuerdo con los requisitos del proyecto sobre una corriente de interferencia equivalente.

La corriente de interferencia equivalente se define como: una corriente armónica de una sola frecuencia, que produce el mismo efecto de interferencia sobre líneas de comunicación paralelas o cruzadas adyacentes como el efecto de interferencia combinado producido por corrientes armónicas de todas las frecuencias en una línea. De acuerdo con los requisitos de proyectos particulares, la corriente de umbral o de interferencia equivalente puede ser ajustada de manera apropiada, para equilibrar el coste de la gestión de armónicos y el coste de compensación de la interferencia de armónicos, de modo que se minimicen los costes de gestión y compensación de armónicos.

Existen las siguientes tres situaciones:

(1) En el caso de que se requiera satisfacer una corriente de interferencia equivalente aproximadamente estándar a lo largo de toda la línea, el filtro de CC es conectado a través de las dos extremidades de los reactores de alisado en una configuración dependiente de la estación convertidora como se ha mostrado en las figs. 1-34;

(2) en el caso de permitir una corriente de interferencia equivalente inferior a la estándar en la línea de media tensión de 400 kV, pueden preverse filtros 142a, 142b de CC en la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión, y pueden cancelarse filtros de CC a través de las estaciones convertidoras, como se ha mostrado en la fig. 35 y en la fig. 36. La fig. 35 muestra una situación que tiene una línea 133 de puesta a tierra prevista en la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión. La fig. 36 muestra una situación que no tiene línea 133 de puesta a tierra prevista en la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión. En este caso, la corriente armónica producida por el convertidor vuelve a través de la red de puesta a tierra de la estación convertidora 12 de la extremidad de alta tensión a través del electrodo de puesta a tierra de la estación convertidora 11 de la extremidad de baja tensión;

(3) en el caso de permitir una corriente de interferencia equivalente inferior a la estándar a lo largo de toda la línea, los filtros de CC pueden ser cancelados como se ha mostrado en la fig. 37.

Un sistema de transmisión de energía de HVDC de múltiples terminales en cascada es además proporcionado en esta invención. Como se ha mostrado en la fig. 38, el sistema comprende una estación convertidora en el lado de envío, una estación convertidora en el lado de recepción, y una línea de transmisión de energía de HVDC entre ellas. La estación convertidora en el lado de envío y la estación convertidora en el lado de recepción están conectadas a una fuente de alimentación de CA y a un área de carga respectivamente. En donde una o ambas de la estación convertidora en el lado de envío y de la estación convertidora en el lado de recepción están construidas de acuerdo con la estación convertidora en cascada de la primera a cuarta realizaciones descritas anteriormente. De manera correspondiente, la fuente de alimentación de CA y el área de carga pueden comprender una o más fuentes de alimentación de CA y de áreas de carga.

Obsérvese que, en esta descripción, por ejemplo, el valor de la tensión de corriente continua de alta tensión, el número de interruptores de cuchilla de aislamiento y el tipo de estación convertidora son todos ilustrativos. Los expertos en la técnica pueden hacer modificaciones sobre ellos de acuerdo con los requisitos prácticos del proyecto. Además, los términos "primero", "segundo", etc., en esta descripción son simplemente utilizados para distinguir una entidad o funcionamiento de otra entidad u operación, y no es necesario requerir o implicar ninguna de tales relaciones o secuencias específicas de dichas entidades u operaciones. Además, los términos "comprender", "incluir", y cualesquiera variaciones de los mismos, están destinados a cubrir una inclusión no exclusiva, de tal modo que un proceso, método, artículo o aparato que comprende una lista de elementos no está necesariamente limitado a esos elementos, sino que puede incluir otros elementos no recogidos expresamente o inherentes a tal proceso, método, artículo, o aparato. En el

caso de no tener una limitación adicional, la expresión "que comprende un elemento" no presupone la adición de otros elementos idénticos en el proceso, método, artículo, o aparato que comprende ese elemento.

5 Se han descrito realizaciones preferidas de esta invención anteriormente con referencia a los dibujos. Es evidente que, sin embargo, muchas realizaciones son simplemente tienen el propósito de ilustración, pero no pretenden ser limitaciones del alcance de esta invención. El alcance de esta invención está solamente definido por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1 Una estación convertidora en cascada en una transmisión de energía de HVDC de múltiples terminales en cascada, que comprende:

5 una estación convertidora (11) de la extremidad de baja tensión que tiene un lado positivo y un lado negativo, cada uno de los cuales comprende:

un transformador convertidor (111a, 111b) acoplado a una primera red (110) de corriente alterna (CA);

una válvula convertidora (112a, 112b) acoplada al transformador convertidor (111a, 111b) para realizar la conversión de CC/CA; y

reactores (115a, 115b) de alisado previstos en ambos extremos de la válvula convertidora (112a, 112b); y

10 una estación convertidora (12) de la extremidad de alta tensión, que está conectada en serie a la estación convertidora (11) de la extremidad de baja tensión a través de una línea (13) de transmisión de energía de CC de media tensión, y está conectada a una línea (14) de transmisión de energía de CC de alta tensión, en donde la estación convertidora (12) de la extremidad de alta tensión comprende un lado positivo y un lado negativo, cada uno de los cuales comprende:

un transformador convertidor (121a, 121b) acoplado a una segunda red (120) de corriente alterna (CA);

15 una válvula convertidora (122a, 122b) acoplada al transformador convertidor (121a, 121b) para realizar la conversión de CC/CA; y reactores (125a, 125b) de alisado previstos en ambos extremos de la válvula convertidora (122a, 122b);

20 en donde en la operación de la estación, la tensión de CC generada por la estación convertidora (12) de la extremidad de alta tensión es superpuesta con la tensión de CC emitida desde la estación convertidora (11) de la extremidad de baja tensión para generar HVDC, que es a continuación transmitida al lado de recepción del sistema de transmisión de energía de HVCC, en donde la estación convertidora (11) de la extremidad de baja tensión comprende una línea (126) de puesta a tierra acoplada a un electrodo de puesta a tierra y una línea (128) de retorno metálica acoplada entre una línea positiva y una línea negativa, y la estación convertidora (12) de la extremidad de alta tensión comprende una línea (133) de puesta a tierra acoplada al electrodo de puesta a tierra y un interruptor de cuchilla (137a, 137b) de aislamiento de bus neutro, en donde una extremidad del interruptor de cuchilla (137a, 137b) de aislamiento de bus neutro es puesta en contacto con la línea (133) de puesta a tierra, y la otra extremidad es puesta en contacto con el lado de salida positivo o negativo de la estación convertidora (12) de la extremidad de alta tensión.

2. La estación convertidora en cascada según la reivindicación 1, en donde en cada una de la estación convertidora (11) de la extremidad de baja tensión y de la estación convertidora (12) de la extremidad de alta tensión, un filtro (117a, 117b, 127a, 127b) de CC está conectado a través de las dos extremidades de los reactores (115a, 115b, 125a, 125b) de alisado.

3. La estación convertidora en cascada según la reivindicación 1, en donde un filtro (142a, 142b) de CC a tierra está previsto en la estación convertidora (12) de la extremidad de alta tensión.

35 4. La estación convertidora en cascada según la reivindicación 1, en donde en cada una de la estación convertidora (11) de la extremidad de baja tensión y de la estación convertidora (12) de la extremidad de alta tensión, está previsto un interruptor de cuchilla (116a, 116b, 126a, 126b) de aislamiento de derivación entre los reactores (115a, 115b, 125a, 125b) de alisado.

5. La estación convertidora en cascada según la reivindicación 1, en donde una línea (138) de retorno metálica acoplada entre la línea positiva y la línea negativa está prevista además en la estación convertidora (12) de la extremidad de alta tensión.

40 6. La estación convertidora en cascada según la reivindicación 1, en donde un trayecto (139a, 139b) para derivar la estación convertidora (12) de la extremidad de alta tensión esta acoplado entre la línea (13) de transmisión de energía de CC de media tensión y la línea (14) de transmisión de energía de CC de alta tensión.

7. La estación convertidora en cascada según la reivindicación 1, en donde un interruptor (140a, 140b) de bus neutro está previsto en la estación convertidora (12) de la extremidad de alta tensión.

45 8. La estación convertidora en cascada según la reivindicación 7, en donde una línea (138) de retorno metálica acoplada entre la línea positiva y la línea negativa está prevista además en la estación convertidora (12) de la extremidad de alta tensión.

50 9. La estación convertidora en cascada según la reivindicación 7 o la reivindicación 8, en donde en cada una de la estación convertidora (11) de la extremidad de baja tensión y de la estación convertidora (12) de la extremidad de alta tensión, un filtro (117a, 117b, 127a, 127b) de CC está conectado a través de las dos extremidades de los reactores (115a, 115b, 125a, 125b) de alisado.

10. La estación convertidora en cascada según la reivindicación 7 o la reivindicación 8, en donde un filtro (142a, 142b) de CC a tierra está previsto en la estación convertidora (12) de la extremidad de alta tensión.
- 5 11. La estación convertidora en cascada según la reivindicación 7 o la reivindicación 8, en donde en cada una de la estación convertidora (11) de la extremidad de baja tensión y de la estación convertidora (12) de la extremidad de alta tensión, está previsto un interruptor de cuchilla (116a, 116b, 126a, 126b) de aislamiento de derivación entre los reactores (115a, 115b, 125a, 125b) de alisado.
12. La estación convertidora en cascada según la reivindicación 7, en donde un trayecto (139a, 139b) para derivar la estación convertidora (12) en cascada de la extremidad de alta tensión esta acoplado entre la línea (13) de transmisión de energía de CC de media tensión y la línea (14) de transmisión de energía de CC de alta tensión.
- 10 13. La estación convertidora en cascada según la reivindicación 12, en donde un interruptor (138) de transferencia de retomo metálico y un interruptor (144) de puesta a tierra de bus neutro están previstos en la estación convertidora (12) de la extremidad de alta tensión.
- 15 14. La estación convertidora en cascada según la reivindicación 12 o la reivindicación 13, en donde en cada una de la estación convertidora (11) de la extremidad de baja tensión y de la estación convertidora (12) de la extremidad de alta tensión, un filtro (117a, 117b, 127a, 127b) de CC está conectado a través de las dos extremidades de los reactores (115a, 115b, 125a, 125b) de alisado.
15. La estación convertidora en cascada según la reivindicación 12 o la reivindicación 13, en donde un filtro (142a, 142b) de CC a tierra está previsto en la estación convertidora (12) de la extremidad de alta tensión.
- 20 16. La estación convertidora en cascada según la reivindicación 12 o la reivindicación 13, en donde cada una de la estación convertidora (11) de la extremidad de baja tensión y de la estación convertidora (12) de la extremidad de alta tensión, está previsto un interruptor de cuchilla (116a, 116b, 126a, 126b) de aislamiento de derivación entre los reactores (115a, 115b, 125a, 125b) de alisado.
- 25 17. Un sistema de transmisión de energía de HVDC de múltiples terminales en cascada, que comprende: una estación convertidora en el lado de envío, una estación convertidora en el lado de recepción, y una línea (14) de transmisión de energía de CC de alta tensión entre ellas, en donde al menos una de la estación convertidora del lado de envío y de la estación convertidora del lado de recepción está construida de acuerdo con la estación convertidora en cascada según cualquiera de las reivindicaciones precedentes.

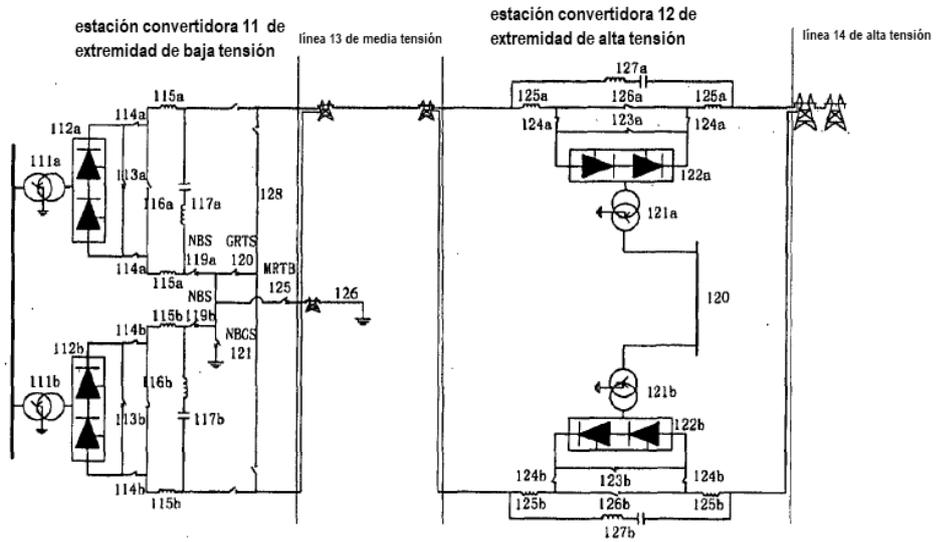


FIG. 1

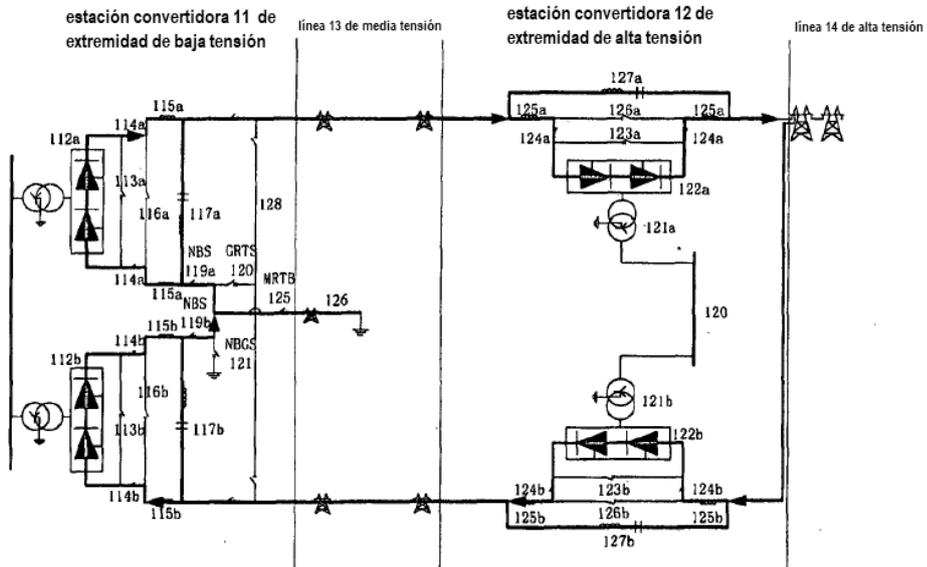


FIG. 2

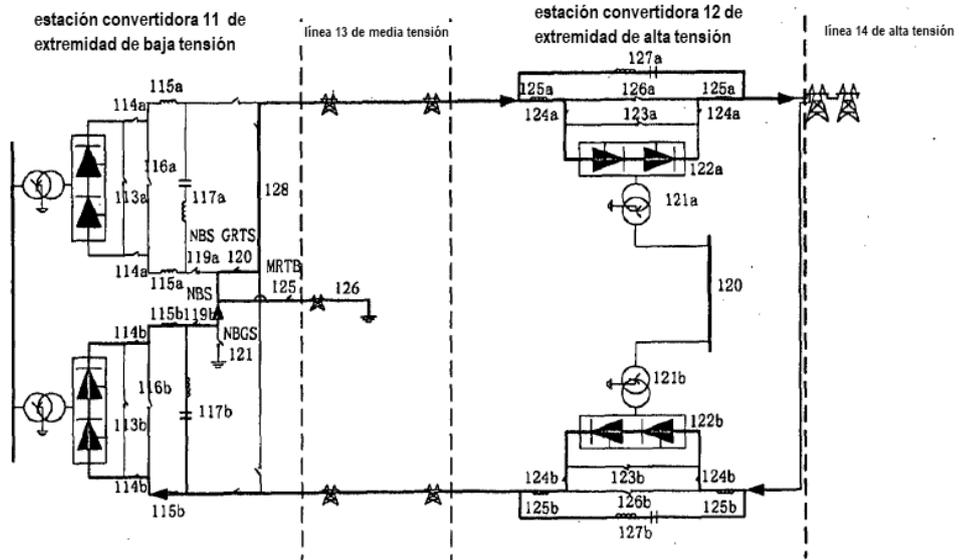


FIG. 3A

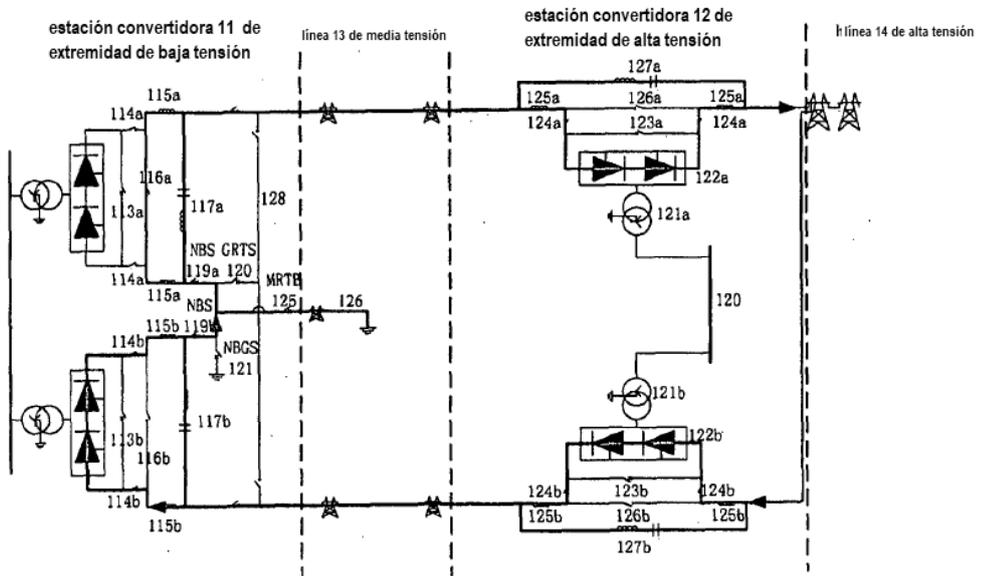


FIG. 3B

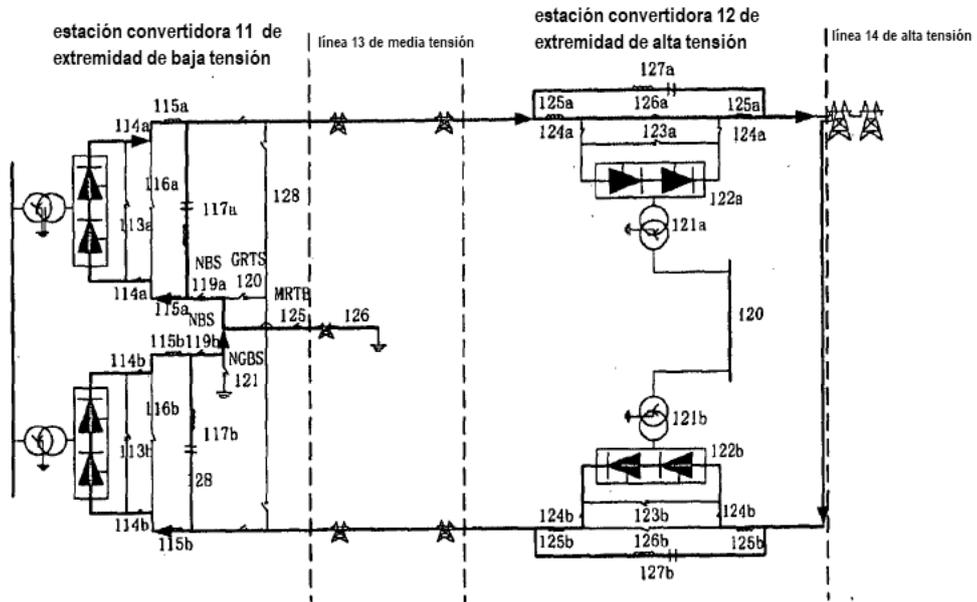


FIG. 3C

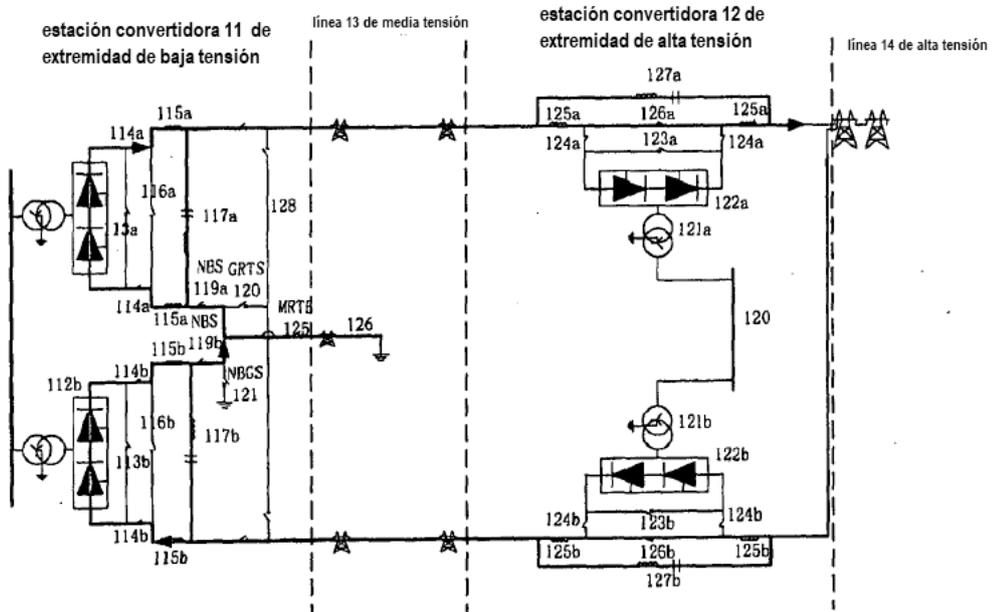


FIG. 4A

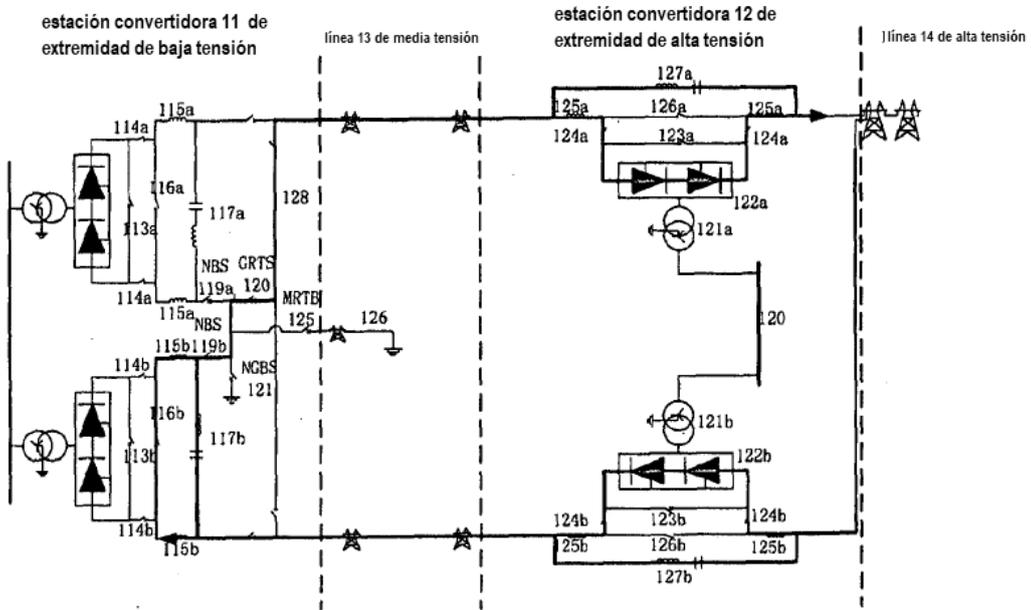


FIG. 4B

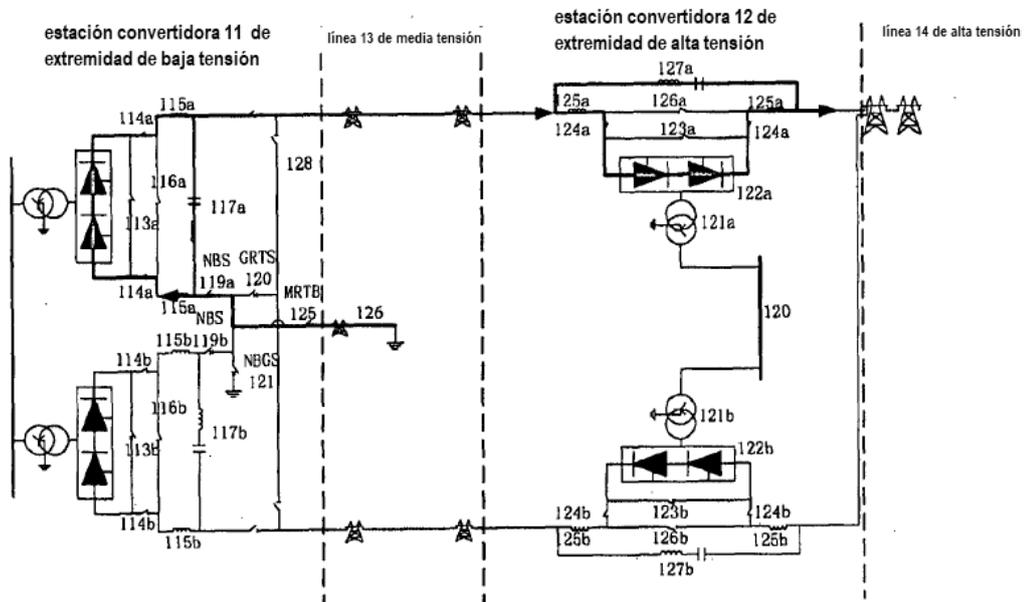


FIG. 5

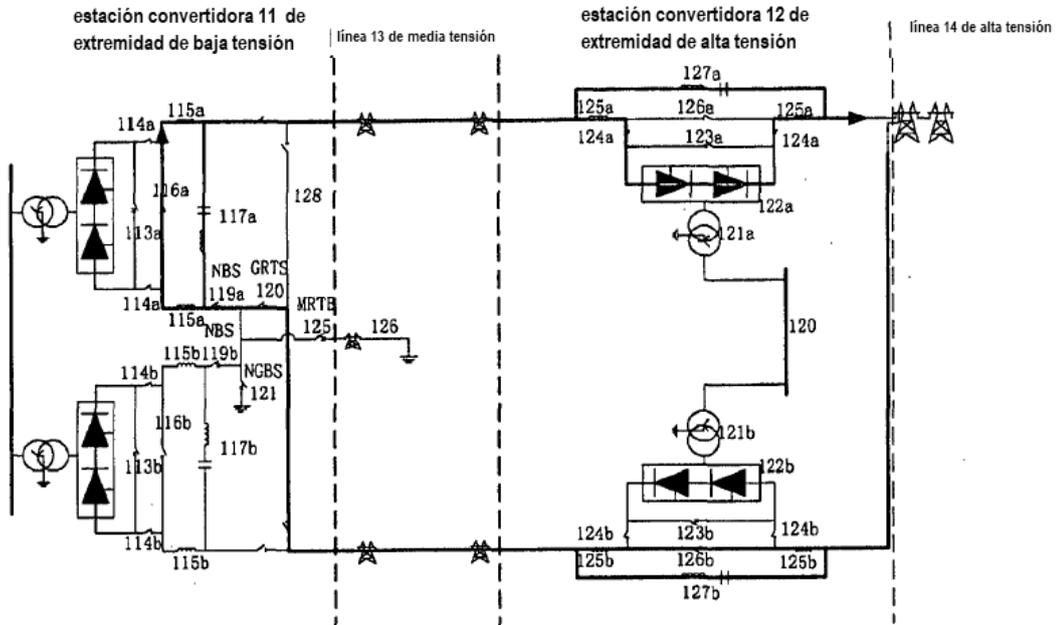


FIG. 8B

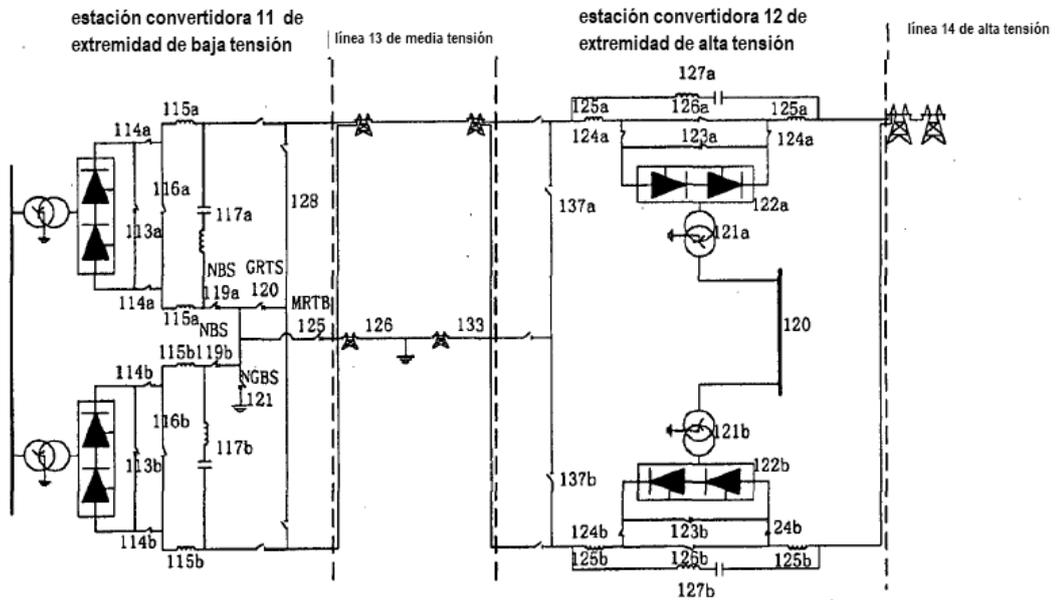


FIG. 9

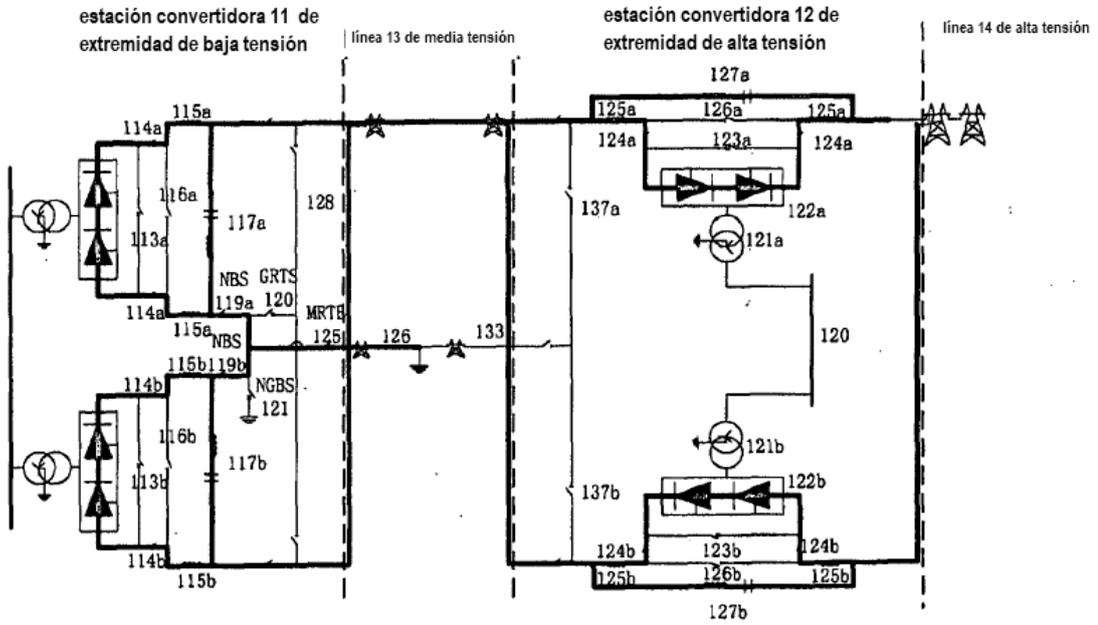


FIG. 10

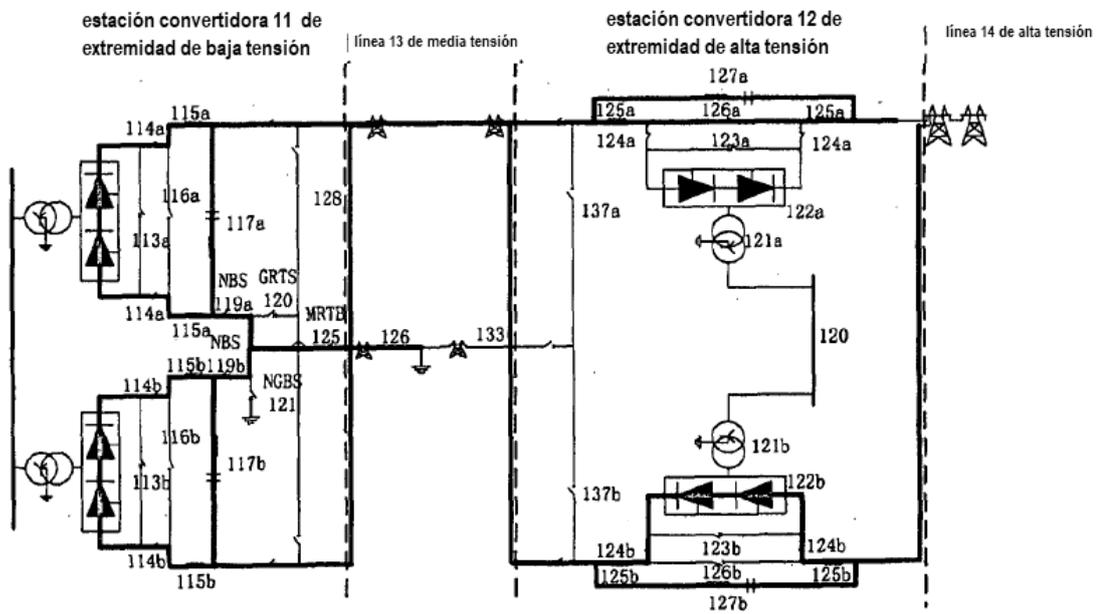


FIG. 11A

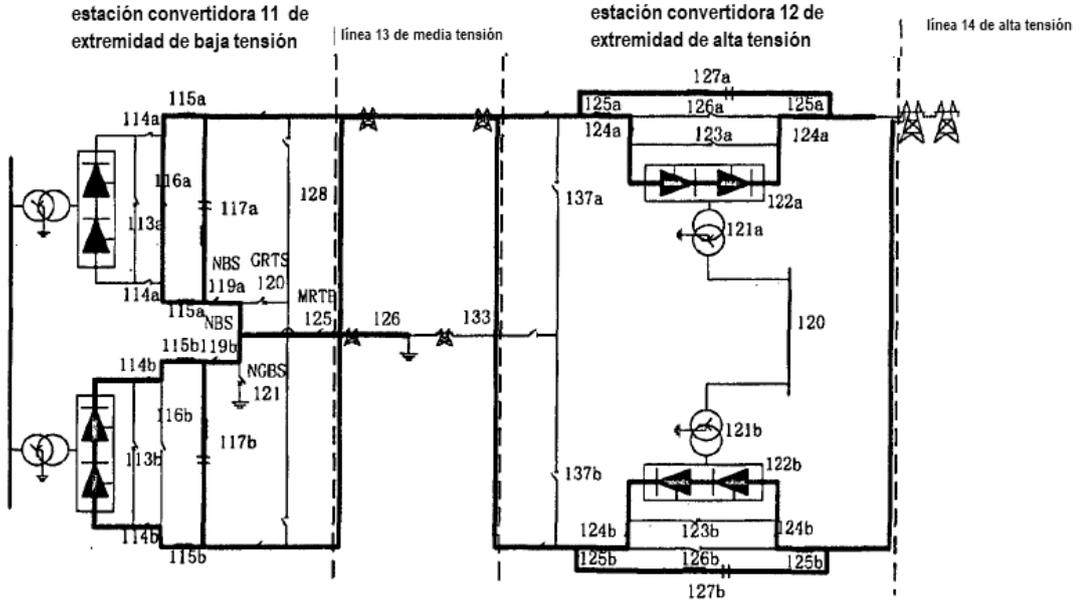


FIG. 11B

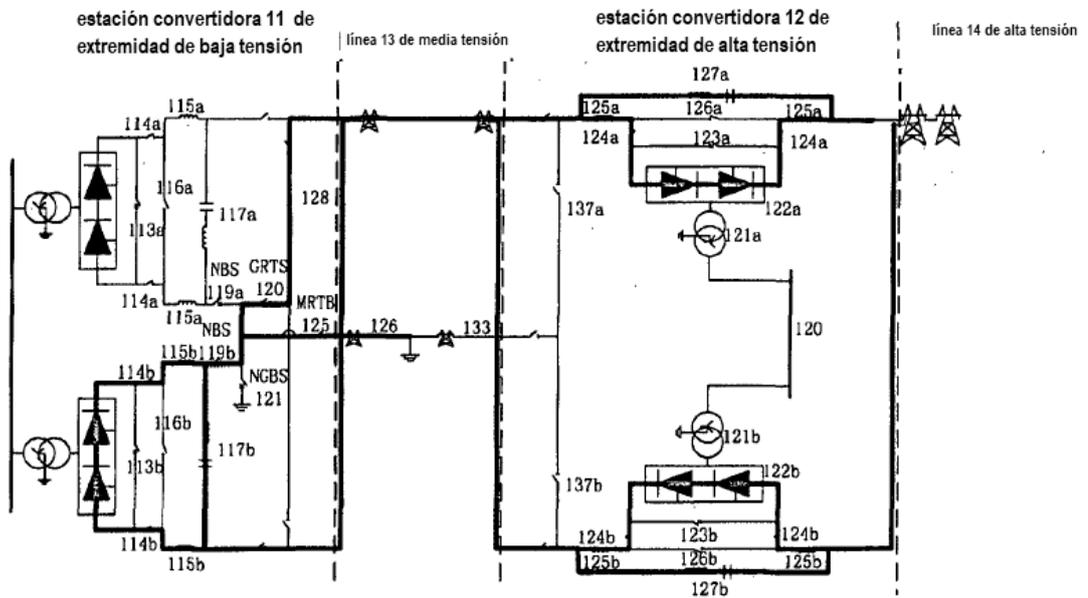


FIG. 11C

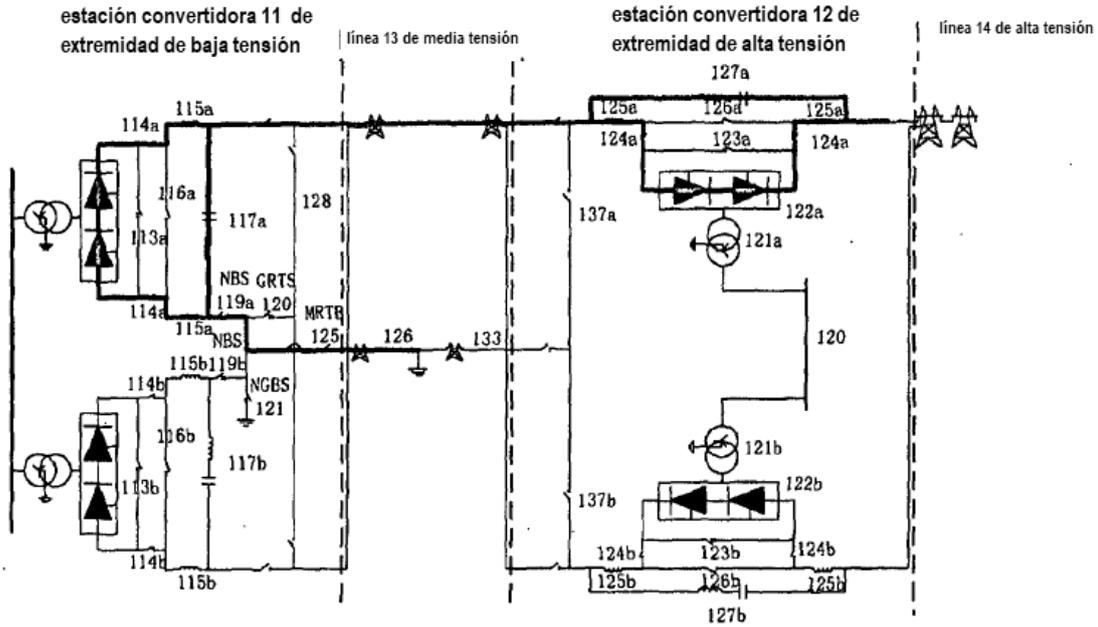


FIG. 13

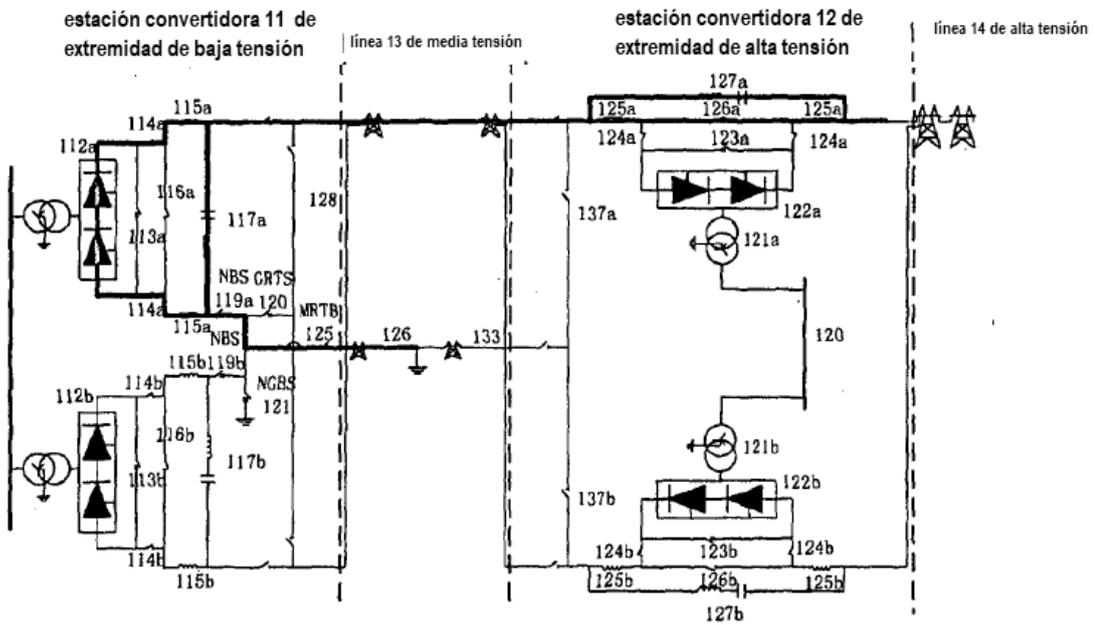


FIG. 14A

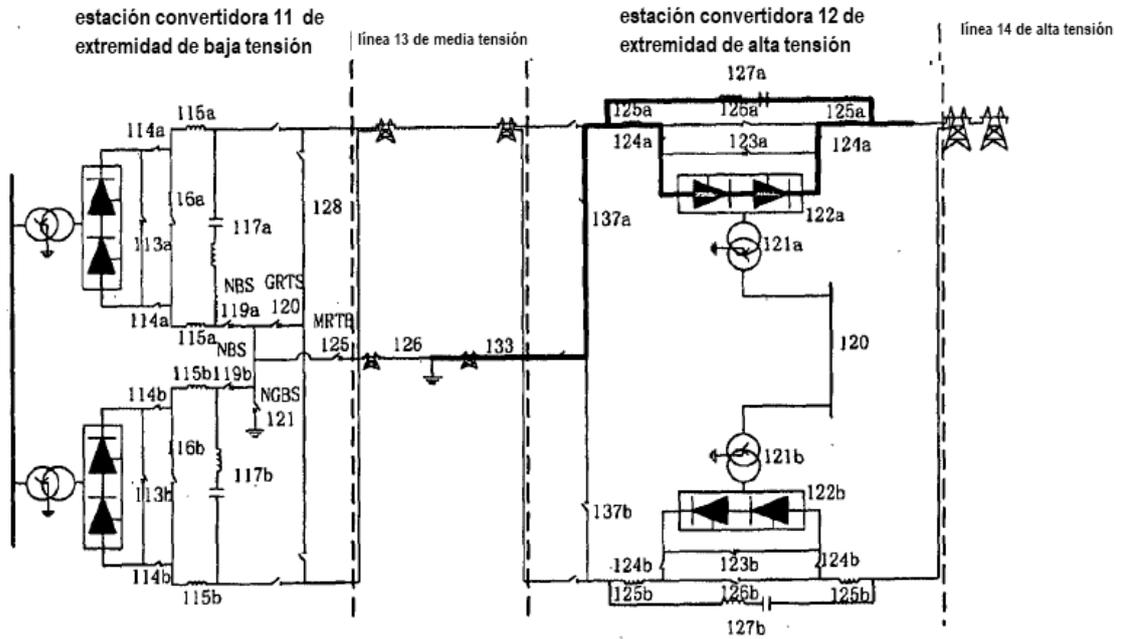


FIG. 14B

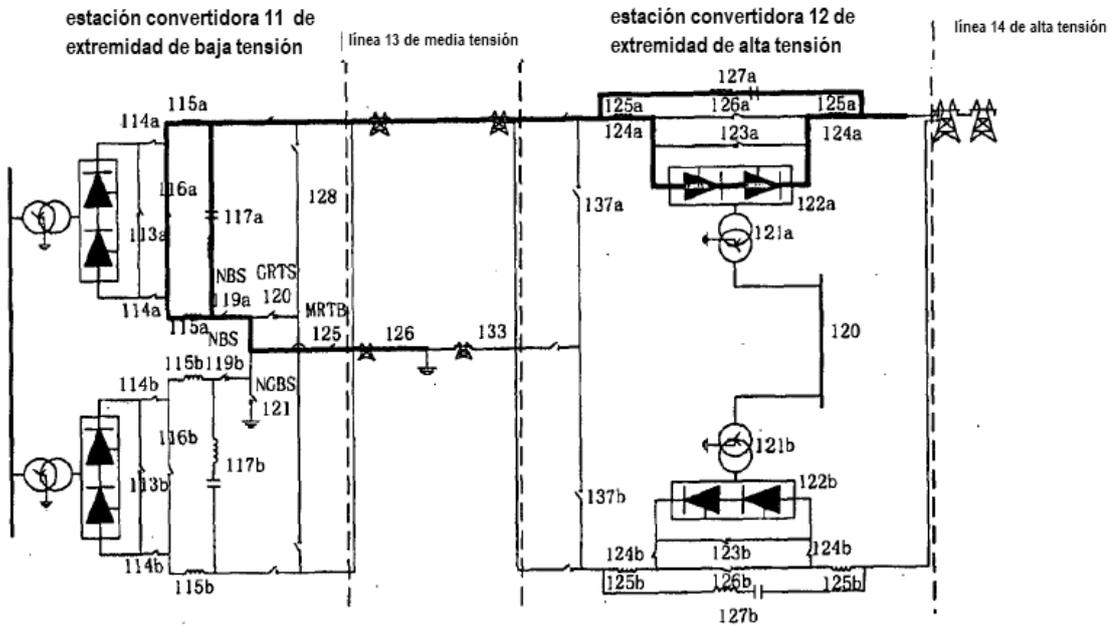


FIG. 14C

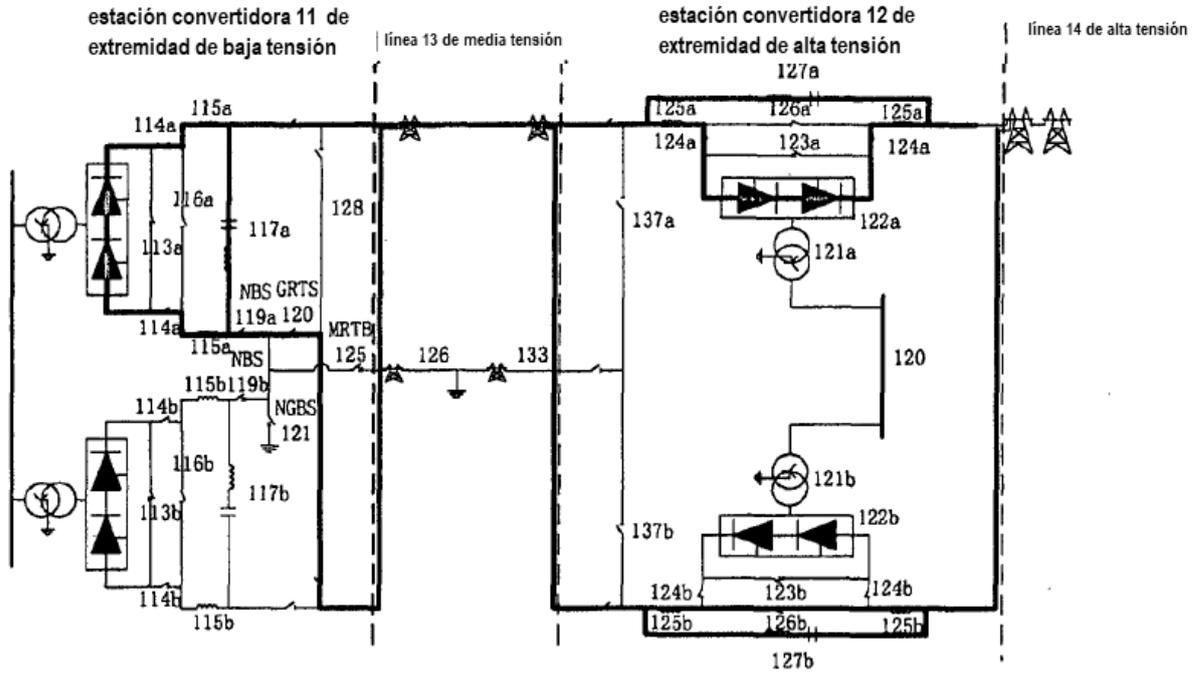


FIG. 15

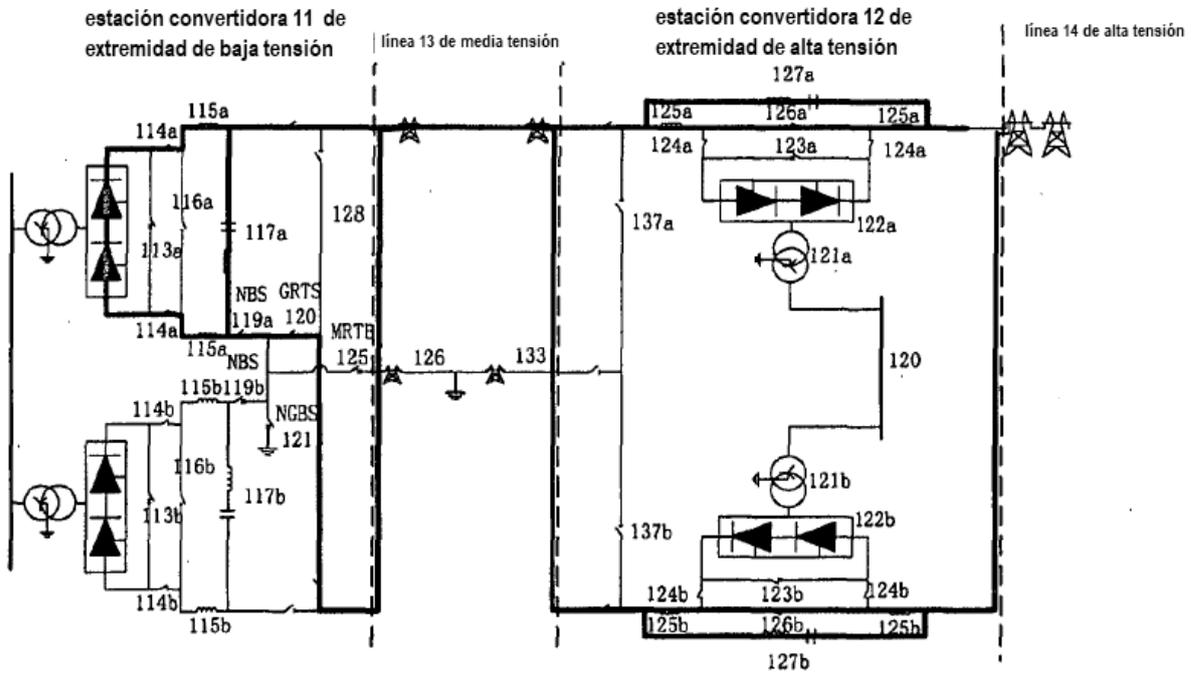


FIG. 16A

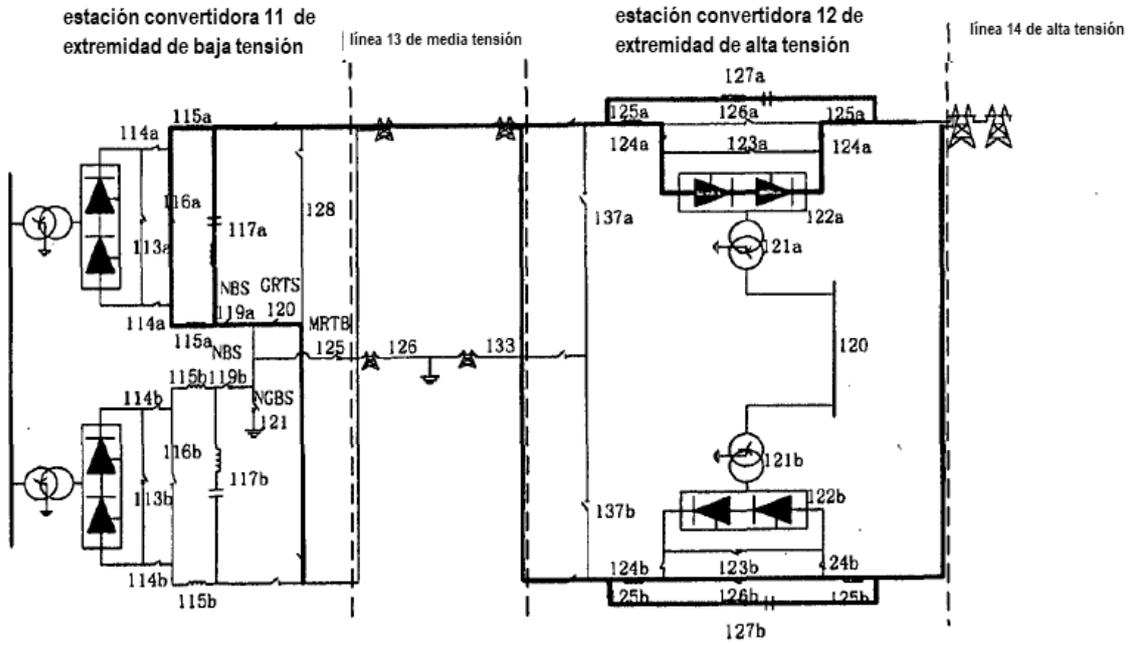


FIG. 16B

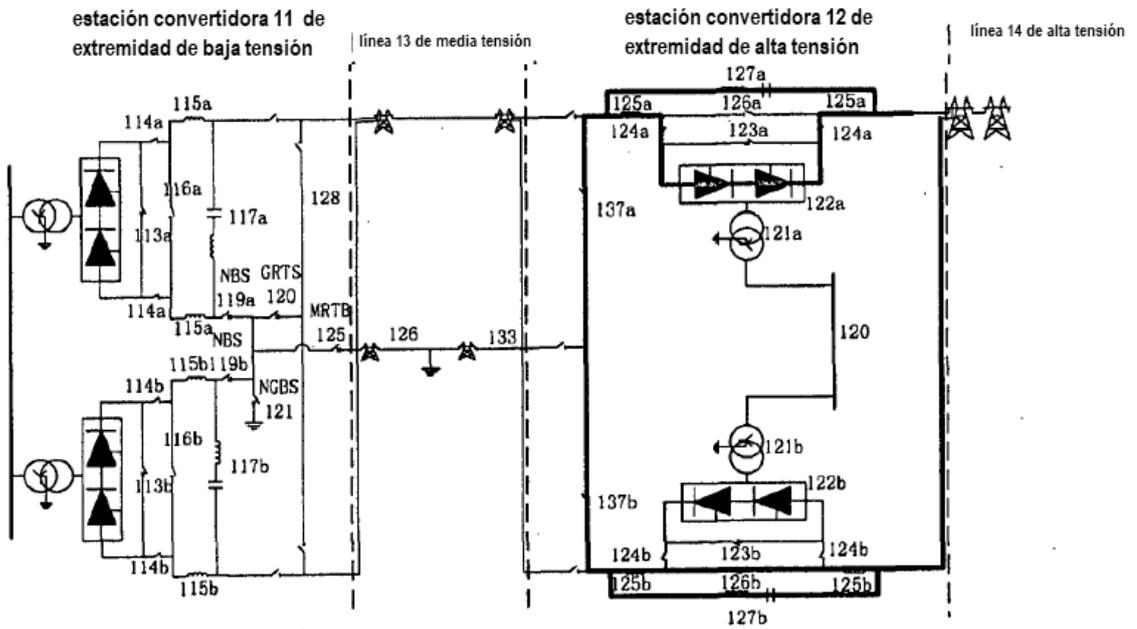


FIG. 16C

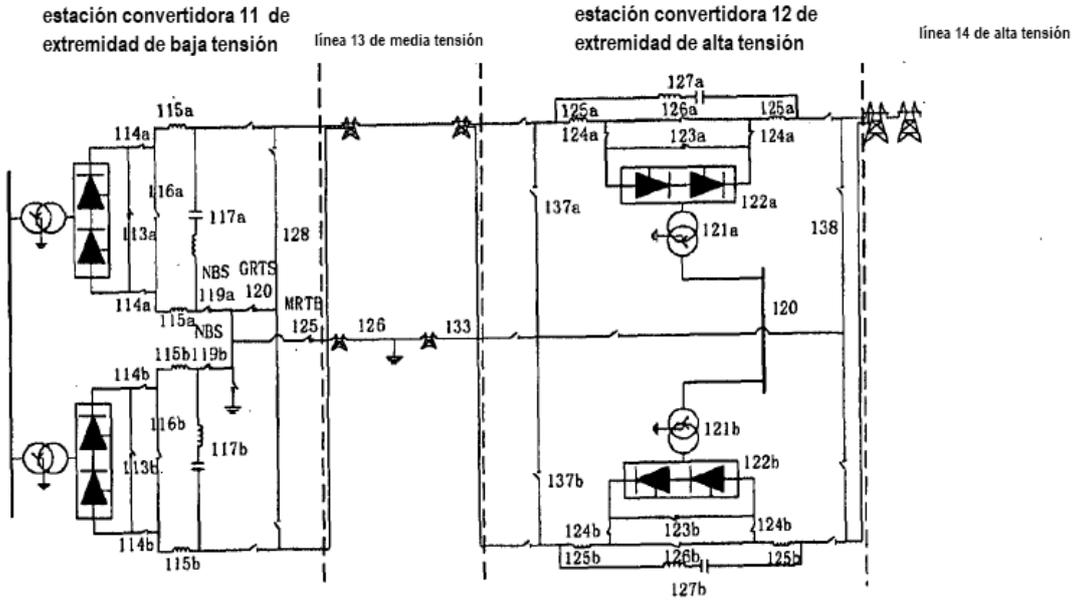


FIG. 17

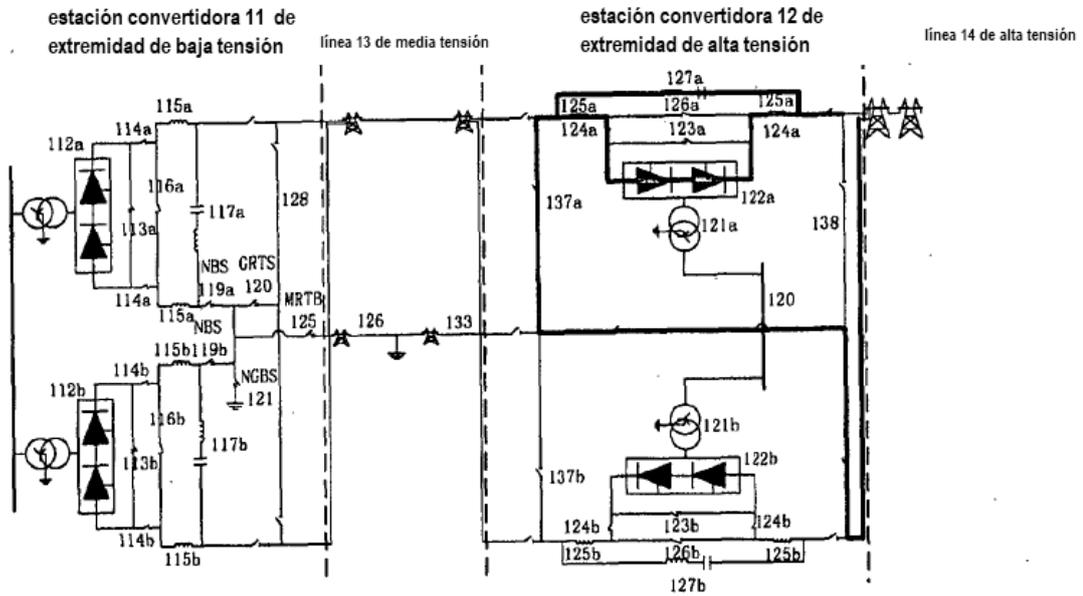


FIG. 18

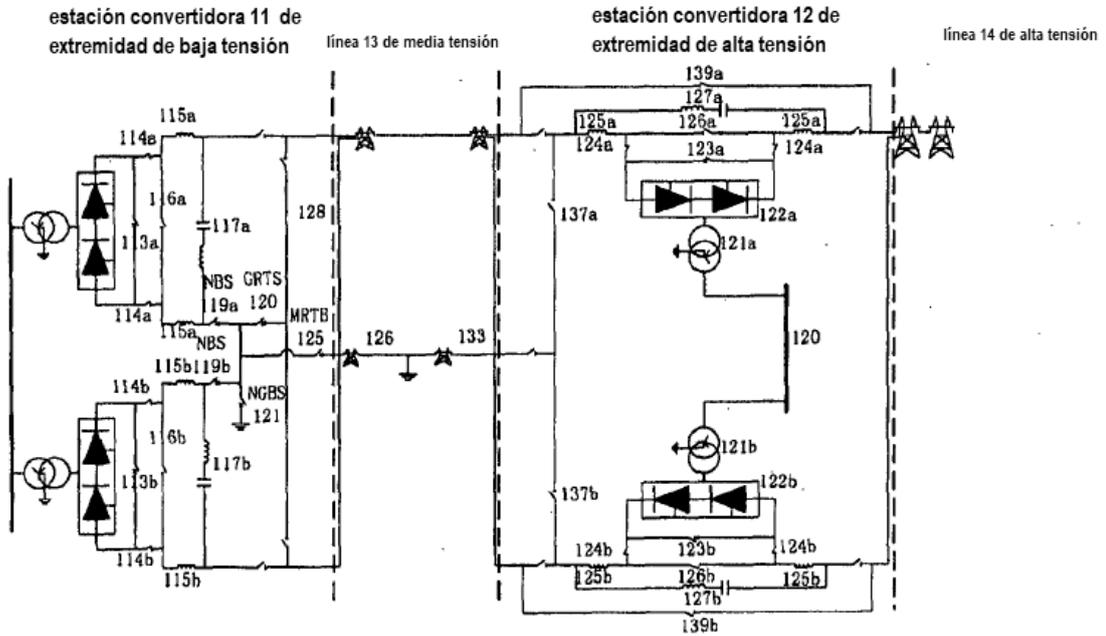


FIG. 19

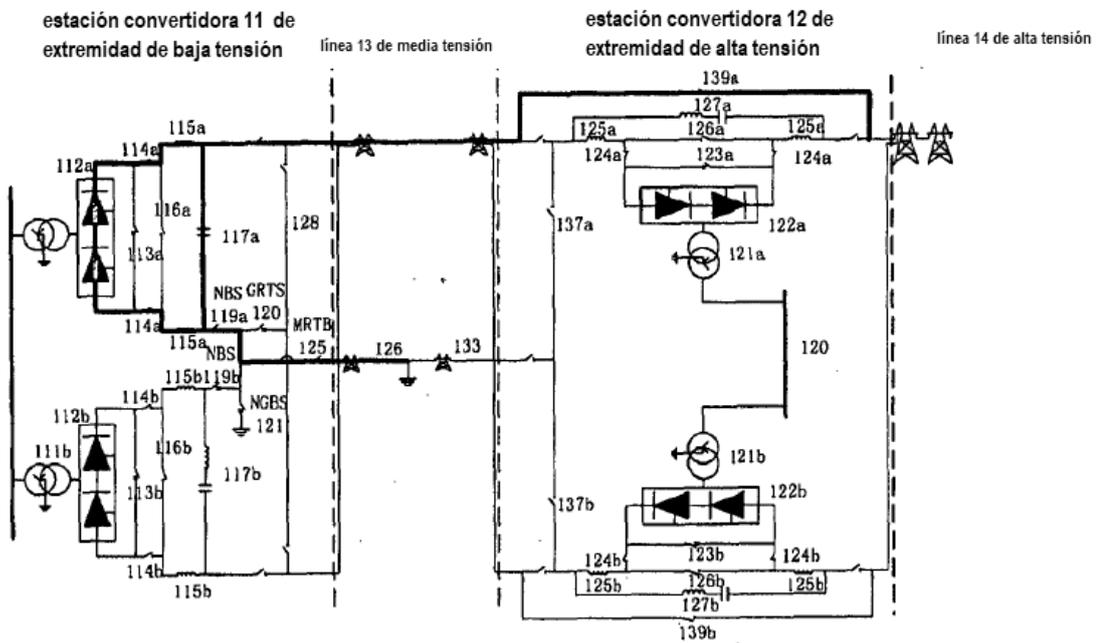


FIG. 20

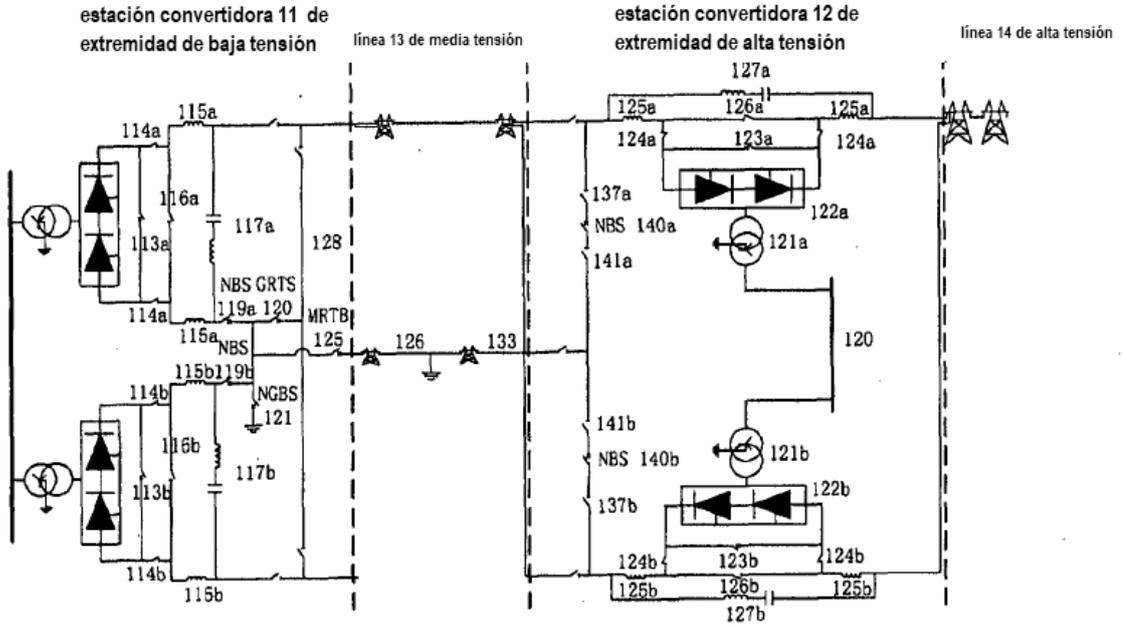


FIG. 21

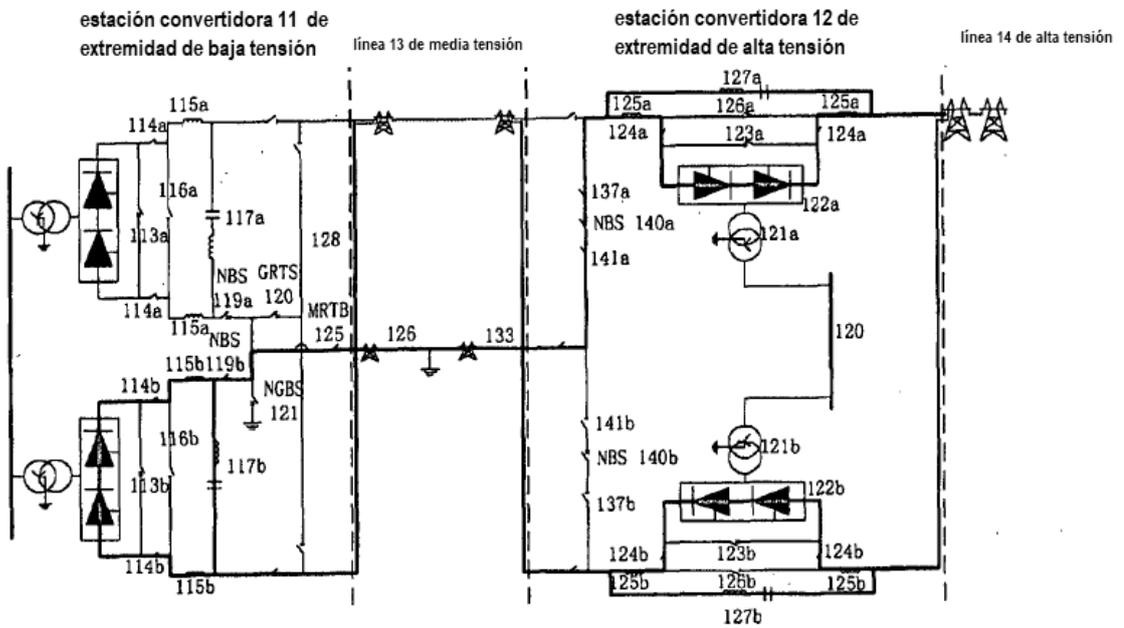


FIG. 22

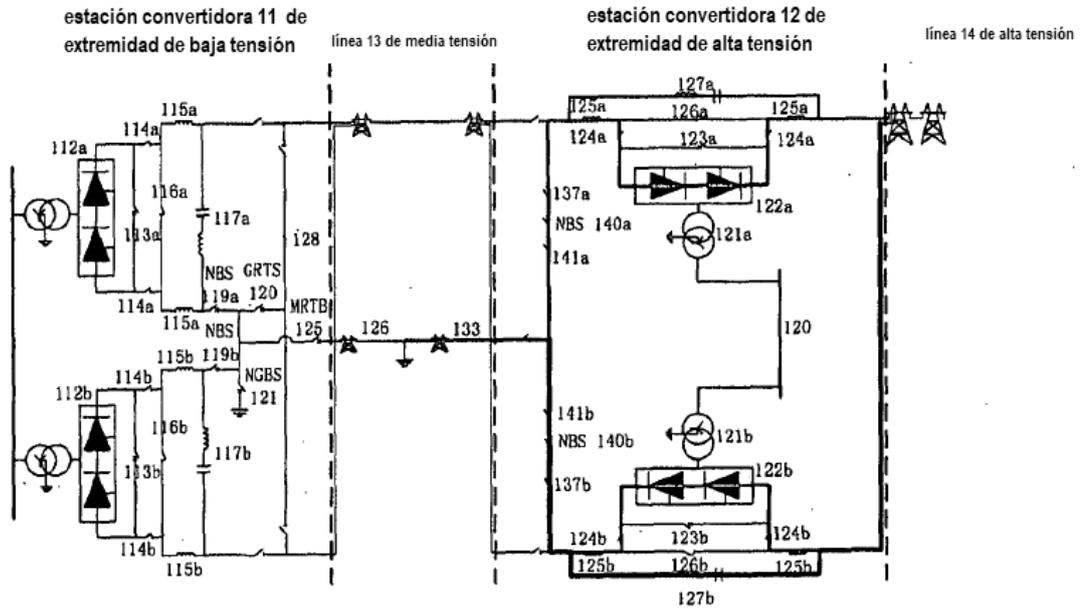


FIG. 23

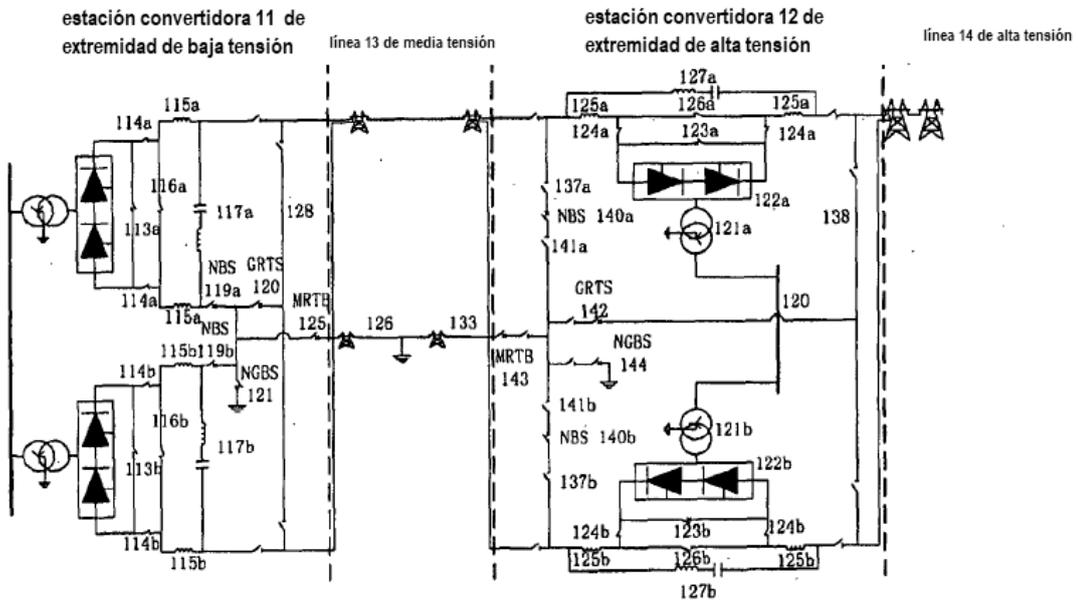


FIG. 24

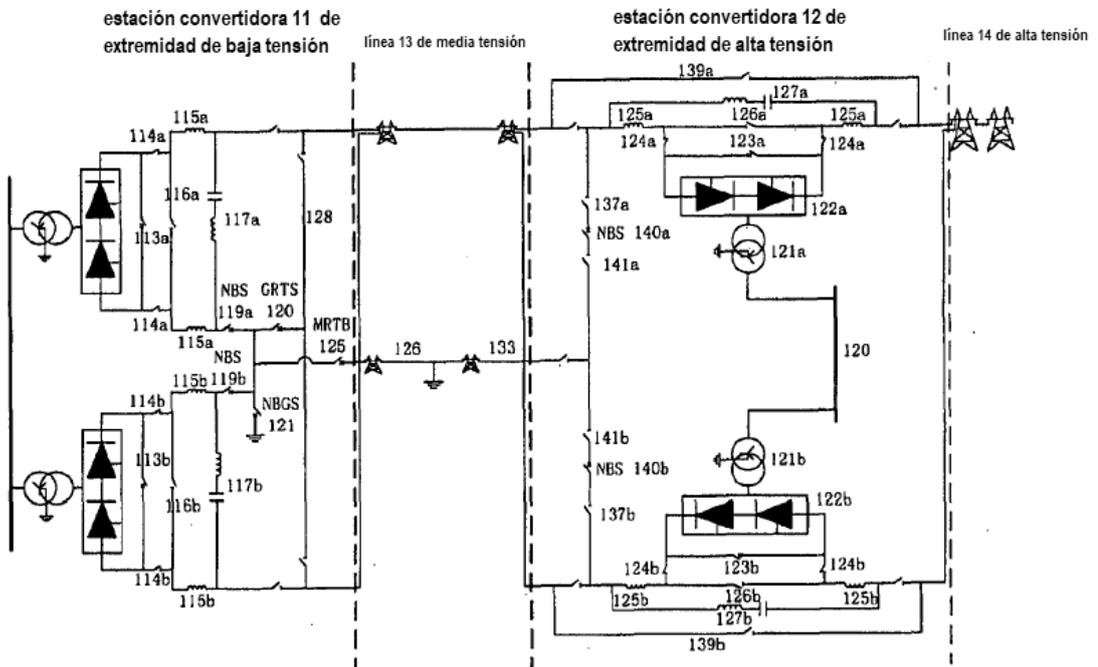


FIG. 25

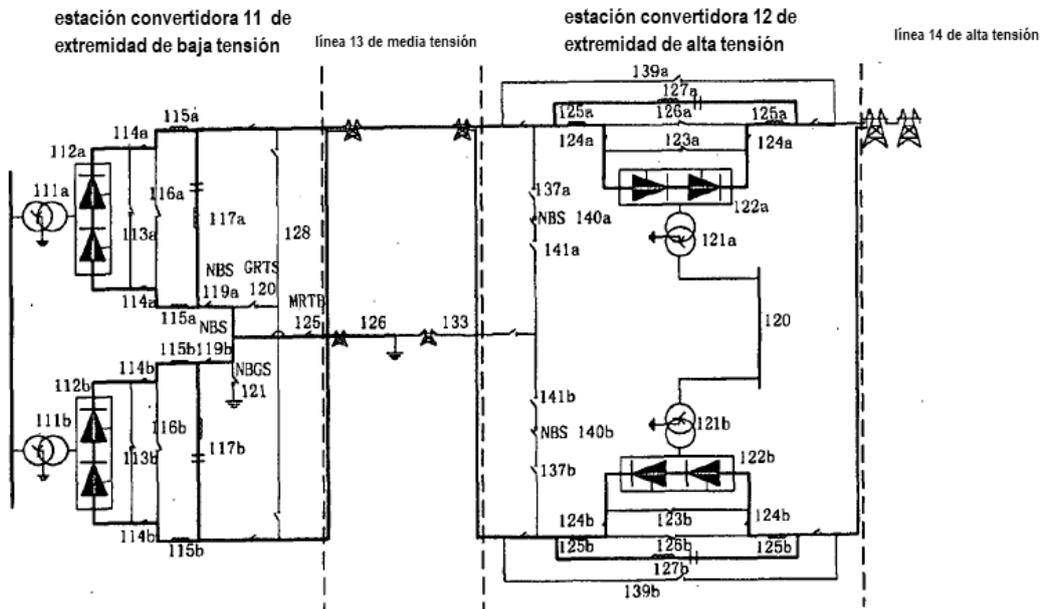


FIG. 26

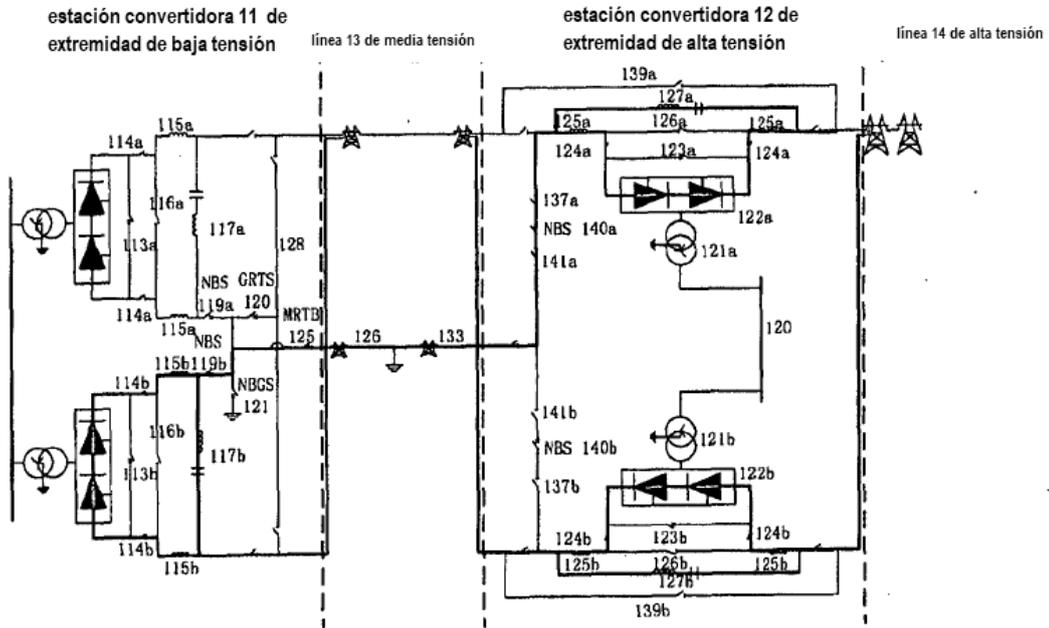


FIG. 27A

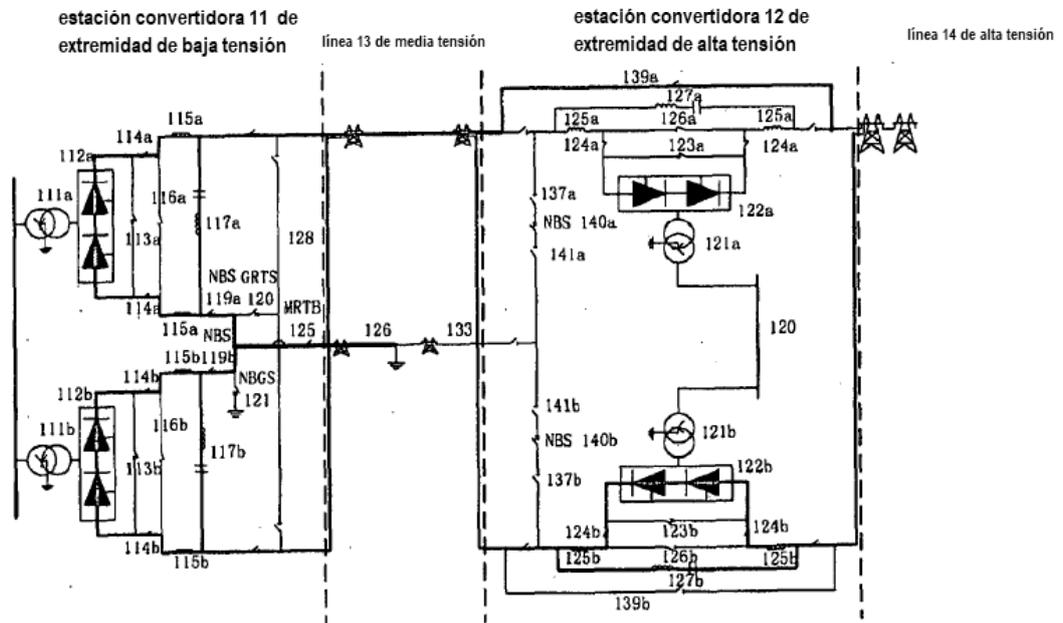


FIG. 27B

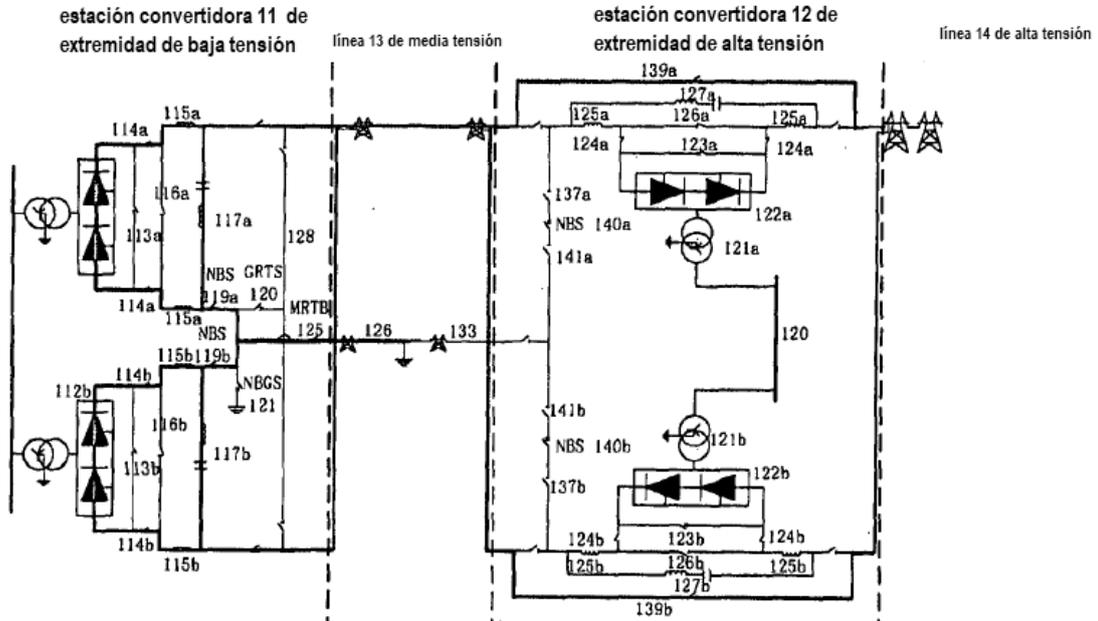


FIG. 28A

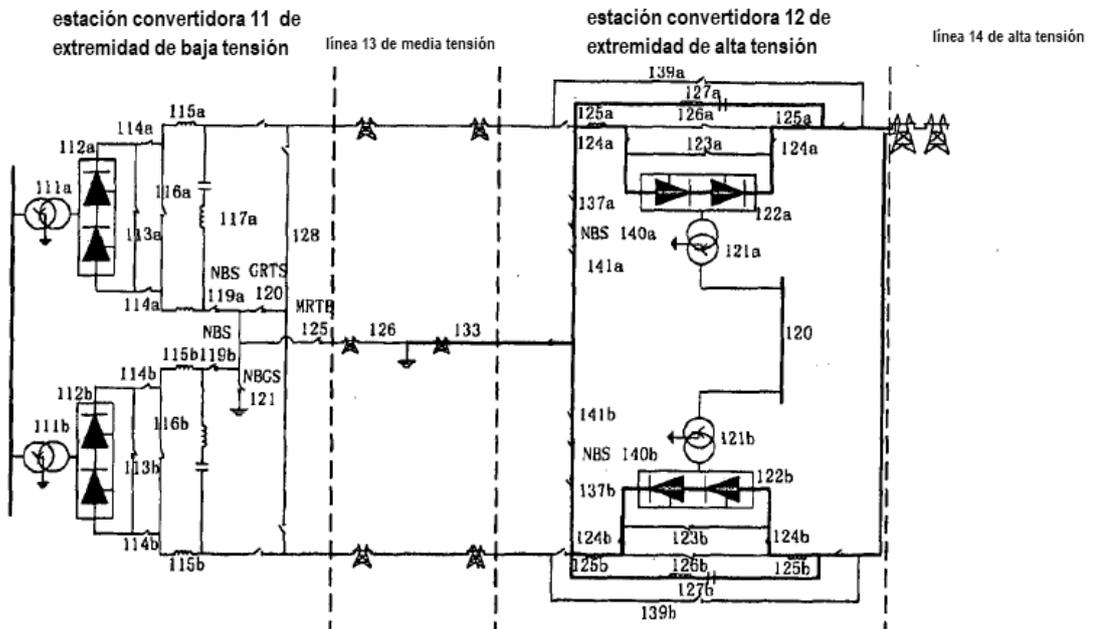


FIG. 28B

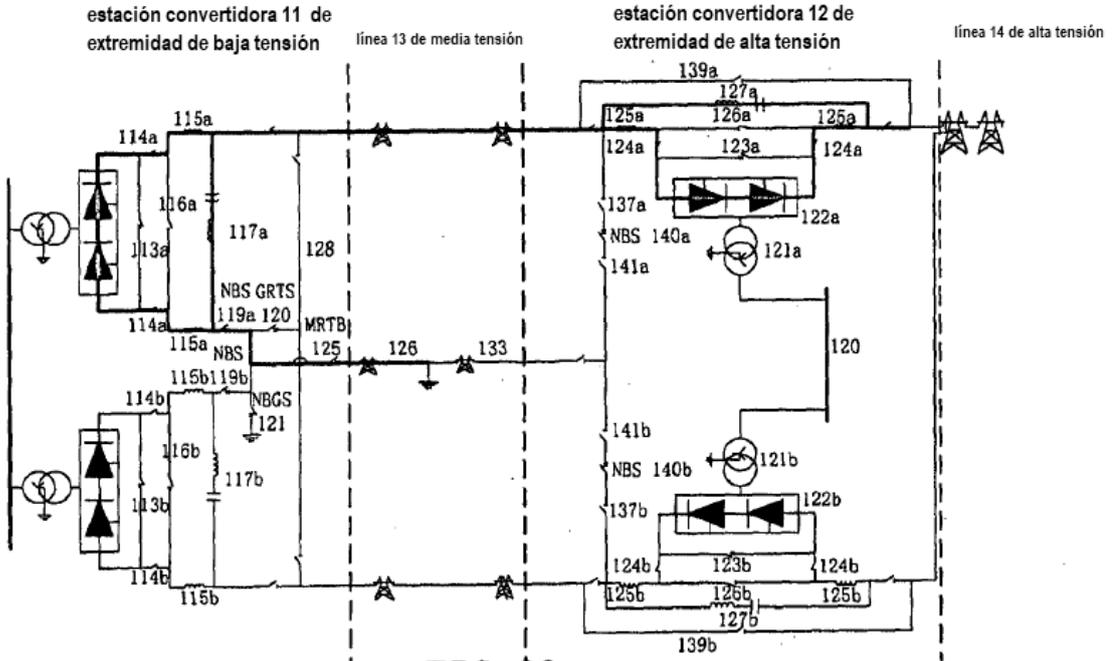


FIG. 29

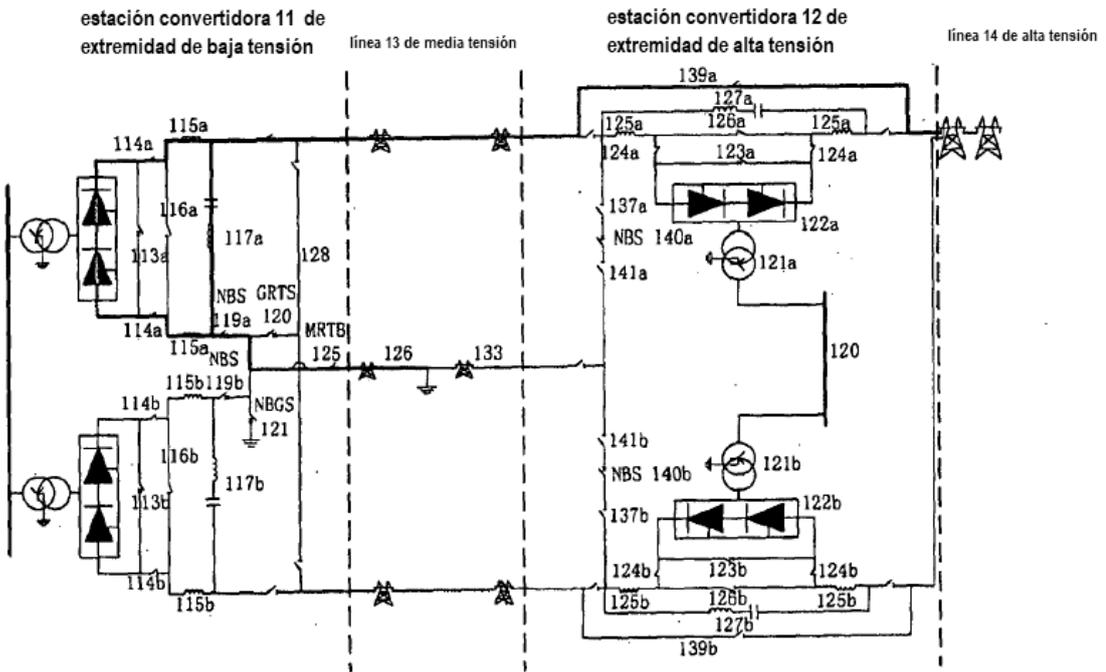


FIG. 30A

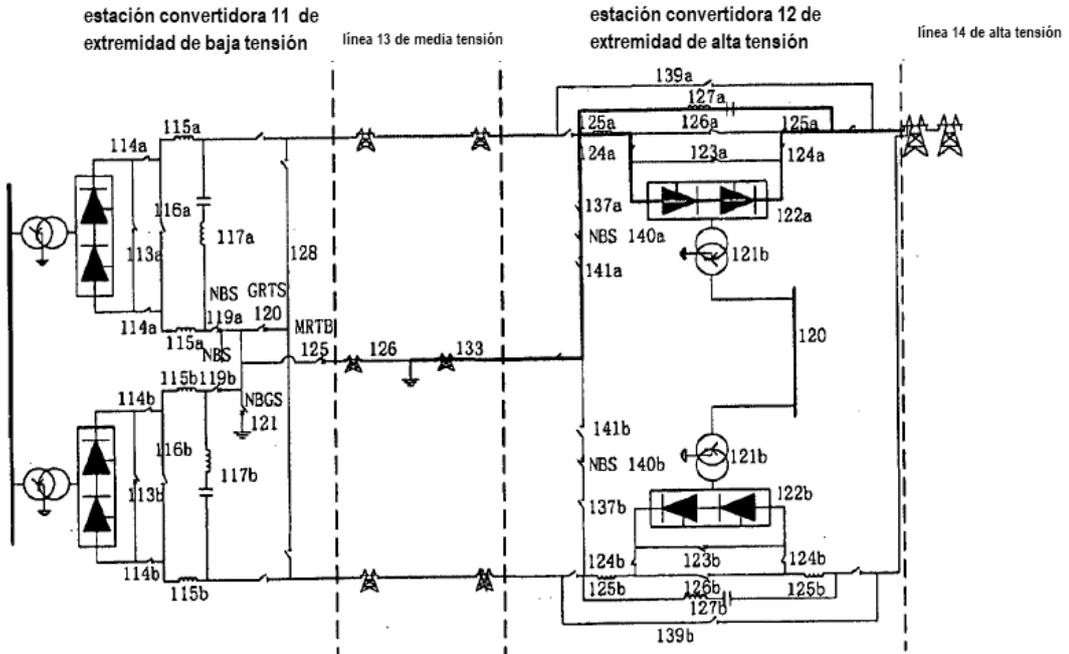


FIG. 30B

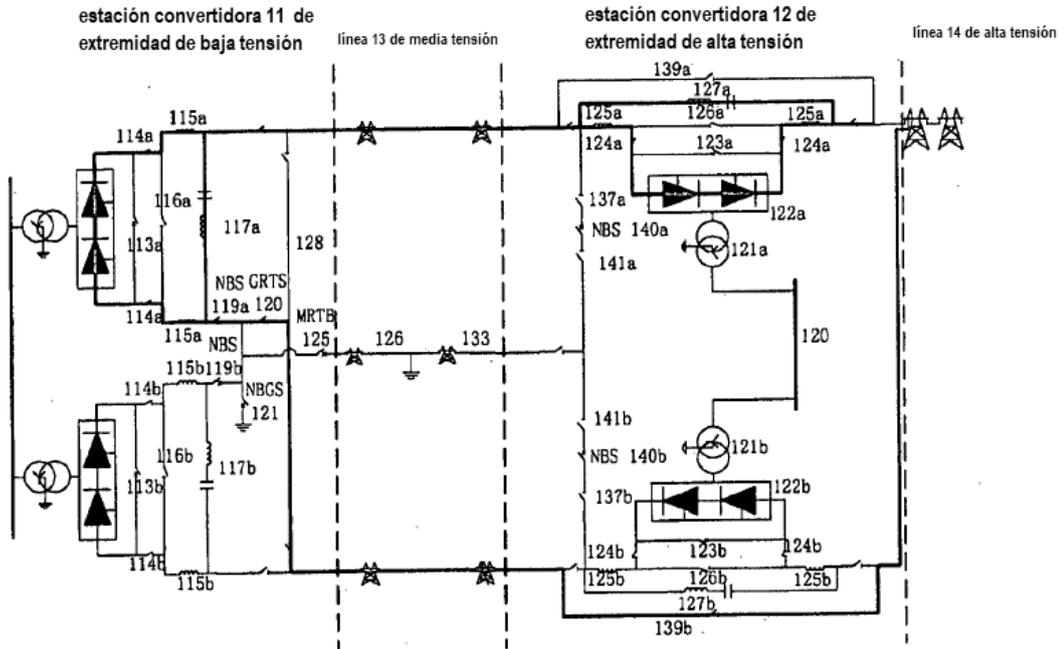


FIG. 31

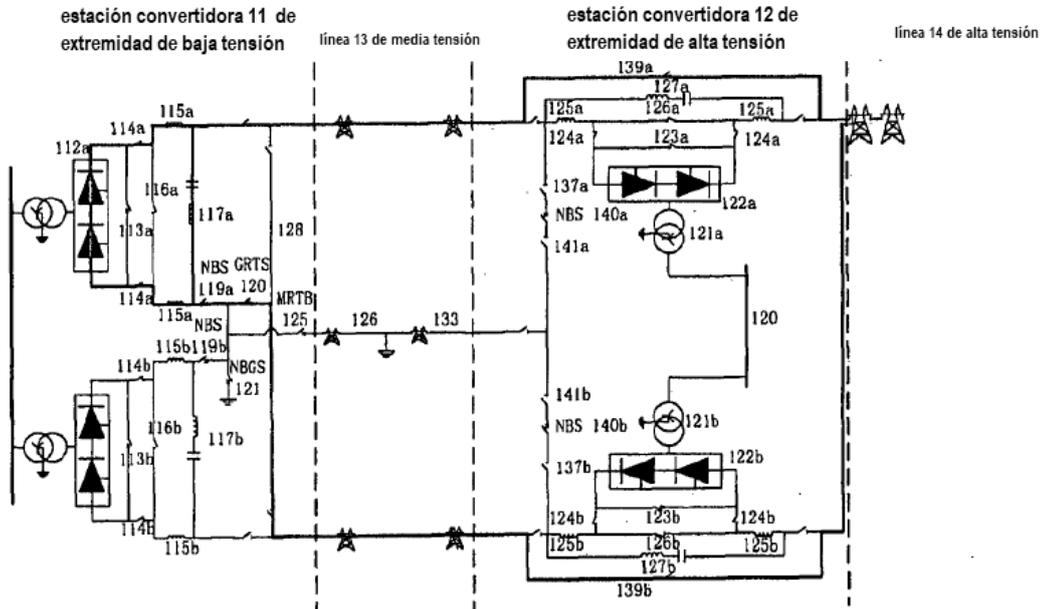


FIG. 32A

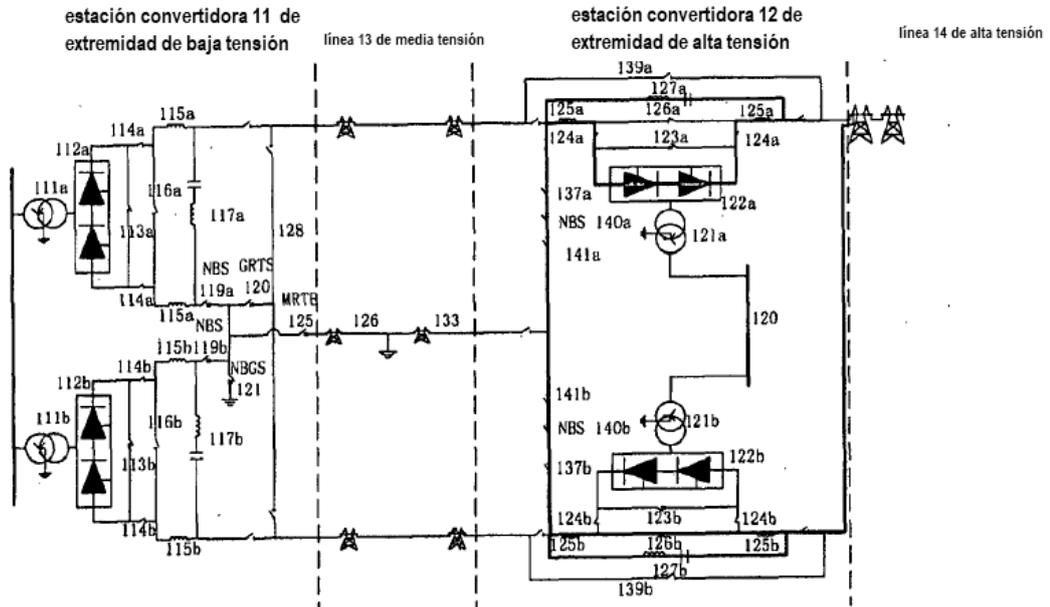


FIG. 32B

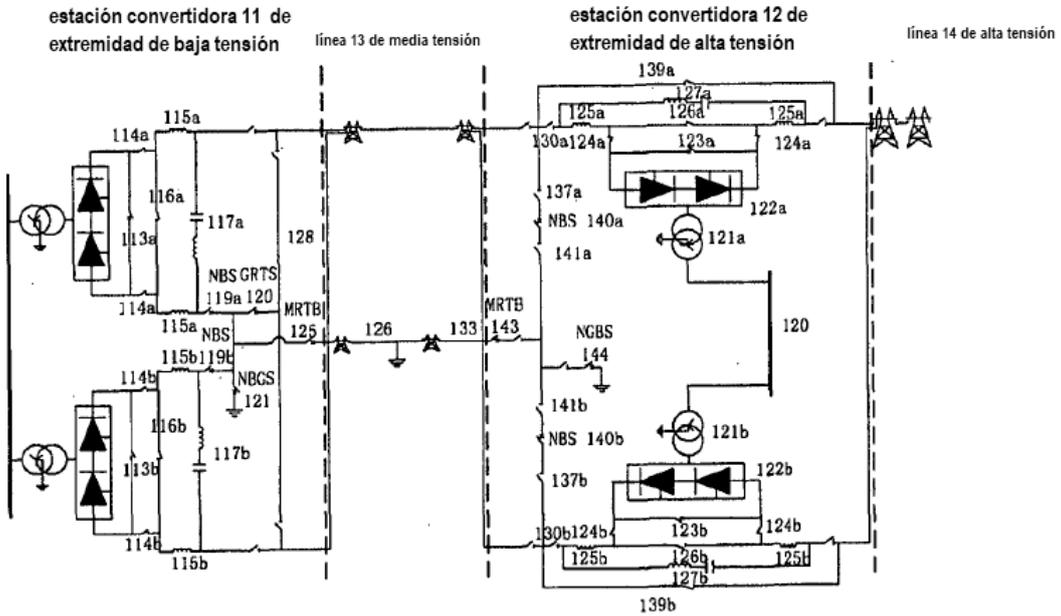


FIG. 33

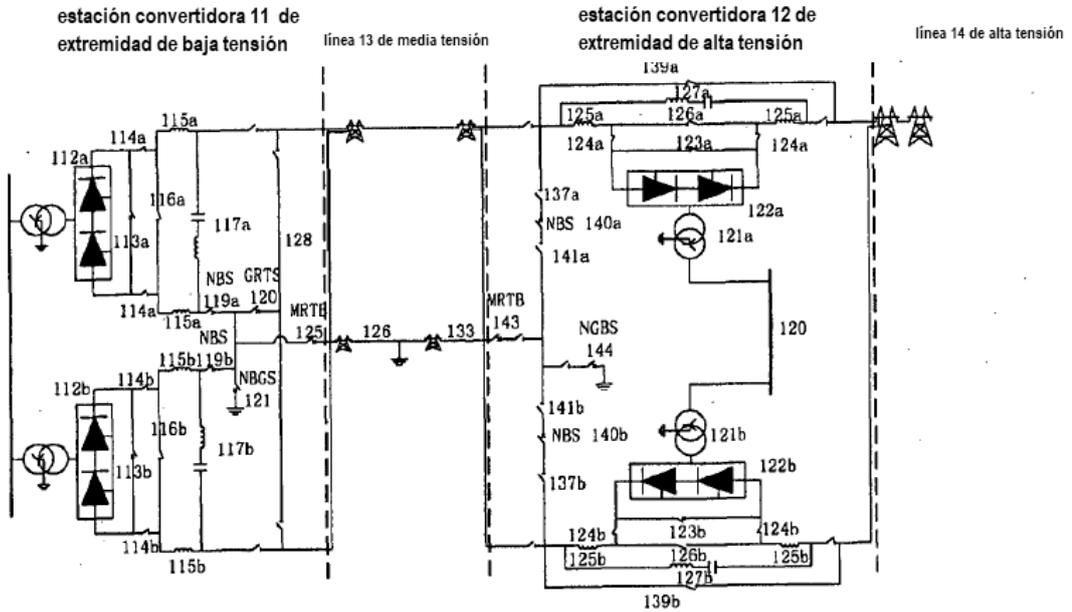


FIG. 34

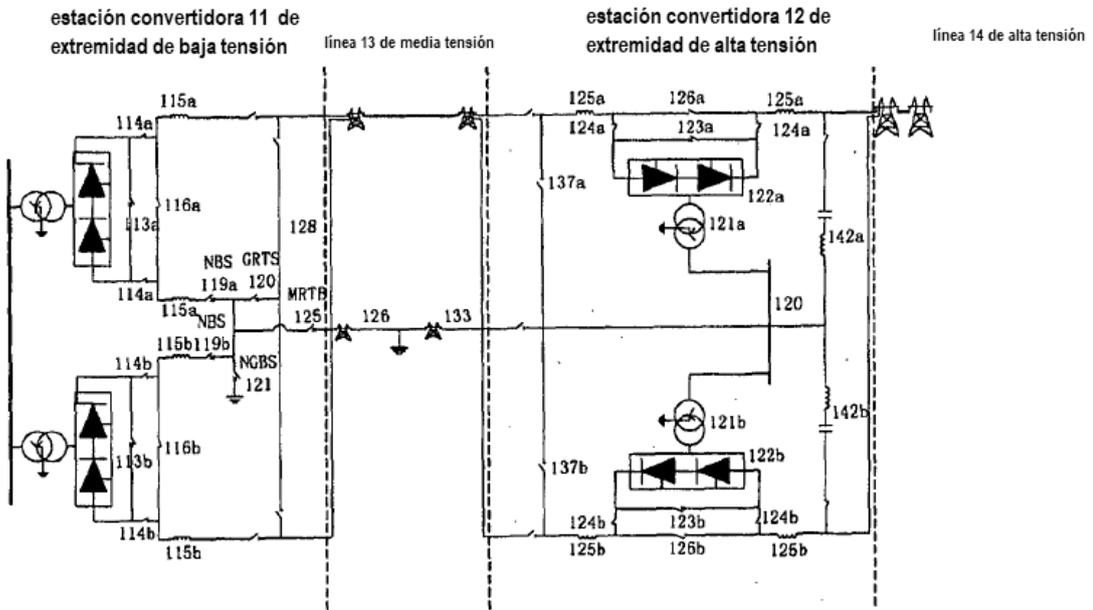


FIG. 35

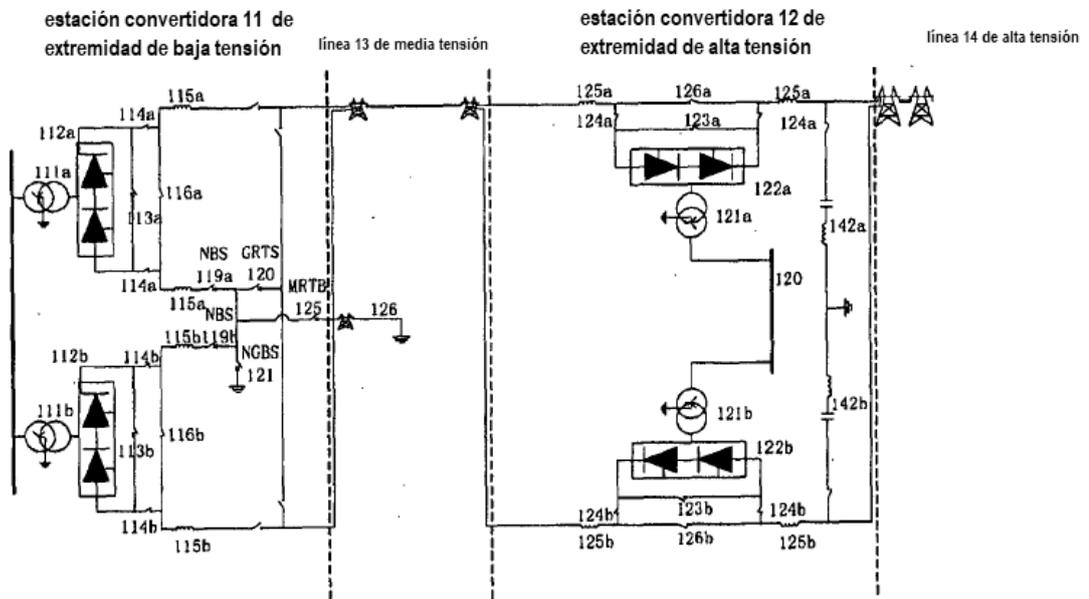


FIG. 36

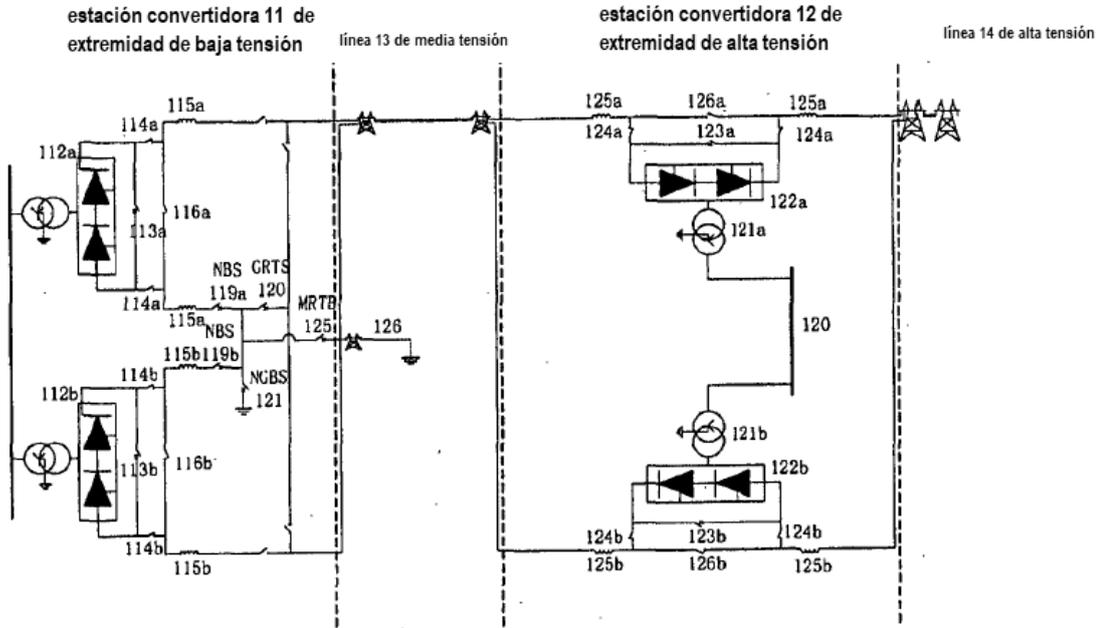


FIG. 37

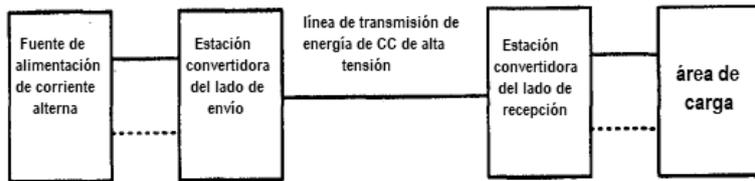


FIG. 38