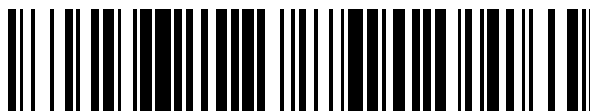


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 375 101**

51 Int. Cl.:  
**H02J 3/18**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07820221 .5**

96 Fecha de presentación: **14.09.2007**

97 Número de publicación de la solicitud: **2191550**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **02.06.2010**

54 Título: **SISTEMA DE STATCOM PARA PROPORCIONAR POTENCIA REACTIVA Y/O ACTIVA A UNA RED DE POTENCIA.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**24.02.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**24.02.2012**

73 Titular/es:  
**ABB TECHNOLOGY AG  
AFFOLTERNSTRASSE 44  
8050 ZÜRICH, CH**

72 Inventor/es:  
**ÄNGQUIST, Lennart**

74 Agente: **Peral Cerdá, David**

**ES 2 375 101 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

Sistema de statcom para proporcionar potencia reactiva y/o activa a una red de potencia

Campo de la invención

- 5 La invención se refiere de manera general al campo de las redes de transmisión de potencia, y en particular al soporte de potencia reactiva para redes de transmisión de potencia eléctrica.

Antecedentes de la invención

Una red de transmisión de potencia eléctrica que suministra electricidad a consumidores tiene que poder gestionar inestabilidades o desequilibrios de tensión, caídas de tensión, un factor de potencia malo, distorsión o fluctuación que se producen dentro de la red. El control de potencia reactiva es una manera de solucionar tales problemas.

- 10 Un STATCOM (*STATic COMPensator*, compensador estático) es un dispositivo eléctrico que se basa en tecnología de convertidor de fuente de tensión (VSC), y que puede usarse para proporcionar soporte de potencia reactiva a la red de transmisión de potencia. Puede producir o absorber potencia reactiva y puede ajustarse mediante un sistema de control a alta velocidad.

- 15 La figura 1 ilustra una disposición de STATCOM básica. En una configuración básica, el STATCOM 1 está constituido por una fuente 2 de tensión de CC, un inversor 3 de CC/CA (convertidor de fuente de tensión, VSC) y un transformador 4. La regulación de la amplitud de la tensión de salida del STATCOM controla el intercambio de potencia reactiva del STATCOM con una red 5 de potencia. Si la amplitud de la tensión de salida supera la amplitud de la tensión de la red de potencia, la corriente reactiva fluye a través de la reactancia del transformador desde el STATCOM 1 hacia la red 5 de potencia y el dispositivo genera potencia reactiva. Si la amplitud de la tensión de salida del STATCOM disminuye hasta un nivel inferior al de la red de potencia, entonces la corriente fluye desde la red 5 de potencia hacia el STATCOM, que entonces absorbe potencia reactiva. Si la tensión de salida del STATCOM es igual a la tensión de la red de potencia, la corriente reactiva es cero y el STATCOM no genera ni absorbe potencia reactiva. La corriente extraída del STATCOM se desplaza 90° con respecto a la tensión de la red de potencia y puede estar adelantada, es decir generar potencia reactiva, o puede estar atrasada, es decir absorber potencia reactiva. De manera equivalente, se producen VAR [voltio-amperio reactivo] adelantados (capacitivos) o atrasados (inductivos).

El STATCOM comprende un circuito principal, el convertidor de fuente de tensión VSC, que está diseñado para gestionar la inyección o absorción de una determinada cantidad de potencia reactiva ("la potencia nominal"). El circuito principal puede comprender, por ejemplo, dispositivos de transistor bipolar de compuerta aislada (IGBT), dispositivos de tiristor de desconexión por compuerta (GTO) o dispositivos de tiristor conmutado de compuerta integrada (IGCT).

- 30 Hay situaciones en las que es ventajoso proporcionar al STATCOM una fuente de energía en su lado de CC con el fin de proporcionar alguna potencia real, también denominada potencia activa, además de la potencia reactiva generada hacia la red. Es decir, algunas veces es ventajoso poder controlar no sólo la potencia reactiva, sino también inyectar o absorber potencia real. Por ejemplo, la potencia real puede usarse o bien como fuente de potencia de reserva cuando se produce repentinamente un déficit de energía dentro de la red, o bien como una potencia de control para gestionar transitorios y oscilaciones electromecánicas en la red.

- 35 La figura 2 ilustra un STATCOM que tiene una fuente 6 de energía ( $U_{es}$ ) conectada a su lado de CC. La fuente 6 de energía puede materializarse como un dispositivo de almacenamiento de energía que puede suministrar temporalmente energía que se ha almacenado previamente o como un suministro de energía que comprende alguna clase de conversión de energía no eléctrica en potencia eléctrica. La fuente 6 de energía puede comprender por ejemplo condensadores de CC convencionales, supercondensadores, baterías electroquímicas, pilas de combustible o módulos fotovoltaicos.

- 40 Las fuentes 6 de energía están adaptadas a un tiempo de ciclo de descarga típico respectivo, que actúa durante segundos (condensadores convencionales), minutos (supercondensadores) o hasta 30 minutos (baterías) o incluso de manera continua (pilas de combustible y módulos fotovoltaicos) dependiendo del tipo de elemento de almacenamiento y condiciones de carga. Independientemente del tipo de fuente de energía, a continuación dispositivo 6 de almacenamiento de energía, que está conectado al enlace de CC del STATCOM, tienen en común que su tensión de CC cambia durante el ciclo de carga/descarga. Sin embargo, la tensión de CC en el STATCOM debe superar un determinado nivel mínimo para hacer que el STATCOM pueda proporcionar la potencia reactiva para la que está configurado el régimen. En particular, el STATCOM tiene que poder proporcionar su potencia reactiva nominal aunque la fuente de energía esté descargada o alcance su nivel de carga aceptado inferior.

- 45 Dado que la tensión de CC de la fuente 6 de energía está conectada directamente al bus de CC del STATCOM, este último debe diseñarse para poder funcionar con una tensión de CC variable. La tensión de CC nominal,  $U_{CC}$ , para el STATCOM no puede ser superior a la menor tensión de funcionamiento de la fuente de energía, es decir  $U_{CC} \leq U_{es, \min} = U_{es}$  (descargado). El STATCOM debe poder funcionar con todos los niveles de tensión de CC hasta la mayor tensión de CC de la fuente de energía, es decir hasta  $U_{es, \max} = U_{es}$  (completamente cargado).

- 50 El circuito principal del STATCOM tiene que diseñarse para poder gestionar el nivel de tensión de CC máxima  $U_{es, \max}$  (completamente cargado) con el fin de enfrentarse a la variación de la tensión de CC en el dispositivo 6 de almacenamiento de energía. Esto cuesta mucho, debido a los componentes caros que tienen que usarse para tal sobredimensionamiento. Normalmente, la variación de tensión de CC del dispositivo 6 de almacenamiento de energía es del 20-100% de la tensión de CC nominal para el STATCOM. El régimen del STATCOM está configurado para gestionar una determinada potencia reactiva, por ejemplo 100 MVar, y si esta potencia reactiva nominal es alta en comparación con la potencia activa nominal del dispositivo 6 de almacenamiento de energía, es decir en comparación con la componente de potencia real, los costes provocados por el nivel de tensión de CC variable son altos.

5 La figura 3 ilustra una solución de la técnica anterior para gestionar la tensión de CC variable de un dispositivo de almacenamiento de energía. En particular, puede usarse un convertidor 7 de CC a CC para convertir la tensión en una tensión deseada. Sin embargo, dado que los convertidores CC/CC son bastante complicados y costosos, específicamente dado que toda la potencia activa tiene que pasar a través del convertidor CC/CC y debido a que el nivel de tensión que es adecuado para el VSC puede ser bastante alto, los costes aumentan sustancialmente.

Los costes para el sobredimensionamiento de la capacidad de gestión de CC de un STATCOM con el fin de que el STATCOM pueda gestionar la tensión de CC variable de un almacenamiento de energía conectado son por tanto muy costosos.

10 En el documento WO 96/18937 se da a conocer un convertidor bidireccional (es decir, CA->CC o CC->CA) para transferir energía eléctrica entre una red principal de potencia de CA de alta tensión y un almacenamiento/suministro de energía de CC tal como una batería o una serie de pilas fotovoltaicas o de combustible. El convertidor incluye un inversor PWM acoplado a la red principal, y un circuito de interrupción CC-CC acoplado entre el inversor PWM y un almacenamiento/suministro de energía de CC. Una unidad de control de inversor incluye un regulador de tensión de bus de CC para regular la tensión en el lado de DOC del inversor PWM, y un controlador de potencia reactiva. Una unidad de control de CC incluye un controlador de potencia real que controla el flujo de potencia real controlando el flujo de corriente del almacenamiento/suministro de energía de CC. Modulando los interruptores de CC en el circuito de interrupción CC-CC, se controla la corriente CC hacia el almacenamiento/suministro de energía de CC para proporcionar un flujo de potencia real deseado a través del circuito de interrupción CC-CC, independiente de la tensión (VCC) del almacenamiento/suministro de energía.

Sumario de la invención

25 Un objeto de la invención es proporcionar un sistema de STACOM para proporcionar potencia reactiva y/o activa a una red de potencia, mediante el cual se superan o al menos se alivian los problemas descritos anteriormente. En particular, un objeto de la invención es proporcionar una manera mejorada de interconectar un dispositivo de almacenamiento de energía que tiene tensión de CC variable con un STATCOM que funciona a tensión de CC constante.

Otro objeto de la invención es proporcionar una manera mejorada de proporcionar una tensión de CC de STATCOM constante independientemente del estado de funcionamiento de un dispositivo de almacenamiento de energía y en particular independientemente del nivel de carga del dispositivo de almacenamiento de energía.

30 Estos objetos, entre otros, se logran mediante un sistema de compensador estático para proporcionar potencia reactiva y/o activa a una red de potencia tal como se reivindica en la reivindicación independiente.

35 Según la invención se proporciona un sistema de compensador estático para proporcionar potencia reactiva y/o activa a una red de potencia. El sistema comprende un compensador estático (STATCOM), que a su vez comprende un condensador de CC y un convertidor de fuente de tensión. El condensador de CC y el convertidor de fuente de tensión del STATCOM están conectados en paralelo. El STATCOM está conectado a un dispositivo de almacenamiento de energía separado que proporciona tensión de CC. El sistema está caracterizado por un dispositivo de convertidor elevador, que está conectado en serie al dispositivo de almacenamiento de energía y conectado en paralelo al condensador de CC del STATCOM. El dispositivo de convertidor elevador y el dispositivo de almacenamiento de energía están conectados además en paralelo al convertidor de fuente de tensión del STATCOM. Por medio de la invención pueden realizarse grandes ahorros de coste; se permite por ejemplo el uso de componentes menos caros así como el uso de componentes más robustos. No hay necesidad de sobredimensionar el STATCOM con el fin de gestionar los niveles de tensión variables de un dispositivo de almacenamiento de energía externo. Además, se logran menos pérdidas y menor gestión de potencia.

40 El dispositivo de convertidor elevador está dispuesto para recibir energía mediante un transformador a partir de terminales de CA del STATCOM. El transformador puede conectarse a los terminales de CA del STATCOM en el lado principal o en el lado secundario del transformador del STATCOM.

45 Alternativamente, el dispositivo de convertidor elevador está dispuesto para alimentarse por medio de una alimentación de CA separada. De nuevo, el sistema puede adaptarse de ese modo para adecuarse a las necesidades particulares de un usuario o adaptarse para su uso en un sistema particular.

50 Según una realización de la invención, el circuito de convertidor elevador comprende un convertidor de fuente de corriente. Puede ser por ejemplo un convertidor de tiristor. Por tanto, pueden usarse componentes fácilmente disponibles en el mercado. Además, el uso de tiristores conmutados por línea convencionales es muy rentable.

55 Según otra realización de la invención, el dispositivo de convertidor elevador está dispuesto para gestionar una diferencia de tensión entre el dispositivo de almacenamiento de energía y la fuente de CC del STATCOM. En particular, el dispositivo de convertidor elevador puede estar dispuesto para cargar el dispositivo de almacenamiento de energía así como para proporcionar tensión a la fuente de CC del STATCOM. El dispositivo de convertidor elevador puede comprender por tanto medios para producir tensión unidireccional o comprender medios para producir tensión bidireccional. El sistema puede adaptarse por tanto fácilmente para adecuarse a las necesidades particulares del usuario o para adecuarse a un sistema de potencia particular.

60 Según aún otra realización de la invención, el dispositivo de almacenamiento de energía comprende un condensador de CC, un supercondensador, una batería electroquímica, una pila de combustible o módulos fotovoltaicos. Puede usarse cualquier dispositivo de almacenamiento de energía adecuado en el sistema de la presente invención.

En aún otra realización de la invención, el dispositivo de convertidor elevador comprende medios para producir potencia reactiva hacia la red. Los medios para producir potencia reactiva pueden comprender por ejemplo dispositivos de

semiconductor de desconexión, tales como tiristores de desconexión por compuerta. Por tanto se proporciona una característica adicional al sistema.

Se definen realizaciones adicionales de la invención en las reivindicaciones dependientes. Realizaciones y ventajas adicionales de la misma resultarán evidentes tras la lectura de la siguiente descripción detallada junto con los dibujos.

5 Breve descripción de los dibujos

La figura 1 ilustra una configuración de STACOM básica.

La figura 2 ilustra un STATCOM de la técnica anterior conectado a un dispositivo de almacenamiento de energía.

La figura 3 ilustra una solución de la técnica anterior para gestionar tensiones variables de una fuente de energía.

Las figuras 4 y 5 ilustran realizaciones de la presente invención.

10 La figura 6 ilustra una realización de un dispositivo de convertidor elevador para su uso en la presente invención.

La figura 7 ilustra otra realización de un dispositivo de convertidor elevador para su uso en la presente invención.

Descripción detallada de realizaciones

Las figuras 1-3 ya se han comentado en relación con la técnica anterior y no se explicarán adicionalmente.

15 La figura 4 ilustra una realización de la presente invención. En particular, en la figura 4 se ilustra un STATCOM 11 (compensador síncrono estático, a continuación simplemente STATCOM o compensador estático) que tiene un nivel de tensión de CC constante deseado,  $U_d$ , conectado a una red 14 de potencia. El STATCOM 11 es de un tipo convencional y comprende un enlace de CC,  $U_d$ , por ejemplo una batería de condensadores de CC (a continuación condensador de CC), un convertidor CC/CA y un transformador  $T_s$ . El convertidor CC/CA comprende un convertidor 10 de fuente de tensión (VSC), que convierte la tensión de CC en un conjunto trifásico de tensiones de salida o en una tensión monofásica hacia la red 14 de potencia. El condensador de CC está conectado en paralelo al VSC 10. El circuito principal del STATCOM 11 es el VSC 10, que por tanto está diseñado para gestionar la inyección o absorción de potencia reactiva. El circuito principal puede comprender, por ejemplo, dispositivos de transistor bipolar de compuerta aislada (IGBT), dispositivos de tiristor de desconexión por compuerta (GTO) o dispositivos de tiristor conmutado de compuerta integrada (IGCT). El valor promedio de la tensión de CC,  $U_d$ , se regula mediante un sistema de control de VSC y el condensador de CC está dispuesto para mantener una tensión de CC constante con el fin de permitir el funcionamiento del convertidor 10 de fuente de tensión.

20 Con el fin de proporcionar potencia real además de la potencia reactiva, un dispositivo 12 de almacenamiento de energía de una tensión  $D_b$  está conectado en paralelo al STATCOM 11, y en particular conectado en paralelo al condensador de CC. Por conveniencia, se usa algunas veces una batería electroquímica en la siguiente descripción como ejemplo del dispositivo 12 de almacenamiento de energía. Sin embargo, se observa que puede usarse cualquier otro tipo de elemento de almacenamiento de energía en relación con la presente invención, tal como los ejemplos mencionados anteriormente: condensadores de CC convencionales, supercondensadores, baterías electroquímicas, pilas de combustible o módulos fotovoltaicos. El dispositivo de almacenamiento de energía puede materializarse por tanto, tal como también se mencionó anteriormente, como un dispositivo de almacenamiento de energía que puede suministrar temporalmente energía que se ha almacenado previamente o como un suministro de energía que comprende alguna clase de conversión de energía no eléctrica en potencia eléctrica.

30 El STATCOM 11 debe hacerse funcionar preferiblemente a una tensión de CC aproximadamente constante,  $U_d$ , y según la invención, el problema de interconectar el STATCOM 11 con el dispositivo 12 de almacenamiento de energía que tiene una tensión variable se soluciona introduciendo un dispositivo 13 de convertidor elevador. Según la invención, el nivel de CC variable del dispositivo 12 de almacenamiento de energía se gestiona mediante el dispositivo 13 de convertidor elevador. El dispositivo 13 de convertidor elevador proporciona una tensión de CC variable que está conectada en serie al dispositivo 12 de almacenamiento de energía y en paralelo al lado de CC del STATCOM.

45 Tal como se ilustra en las figuras 4 y 5, el dispositivo 13 de convertidor elevador está conectado en serie al dispositivo 12 de almacenamiento de energía y en paralelo al lado de CC del STATCOM 11, es decir el dispositivo 12 de almacenamiento de energía y el dispositivo 13 de convertidor elevador conectados en serie están conectados en paralelo al condensador de CC,  $U_d$ , del STATCOM 11. Tal como se mencionó, el lado de CC del STATCOM 11 puede ser por ejemplo una batería de condensadores de CC del STATCOM 11. La idea principal de la presente invención es por tanto introducir el dispositivo 13 de convertidor elevador y dejar que gestione la variación de tensión del dispositivo 12 de almacenamiento de energía. El dispositivo 13 de convertidor elevador sólo necesita gestionar la diferencia entre la tensión nominal  $U_d$  y la tensión del dispositivo 12 de almacenamiento de energía. Esto es contrario a la solución de la técnica anterior mencionada anteriormente, en la que el convertidor 7 de CC/CC debe poder gestionar la tensión máxima. El dispositivo 13 de convertidor elevador añade tensión cuando se necesita. El dispositivo 13 de convertidor elevador es en una realización un convertidor de fuente de corriente, que carga la batería de condensadores de CC.

50 Tal como se ilustra en la figura 5, el dispositivo 13 de convertidor elevador recibe energía preferiblemente mediante un transformador 15 conectado al STATCOM. El transformador 15 está entonces conectado a los terminales de CA del STATCOM 11. El dispositivo 13 de convertidor elevador está conectado al transformador 15, que a su vez está conectado a terminales de CA del compensador 11 estático, o bien en el lado principal del transformador  $T_s$  del STATCOM tal como se muestra en la figura, o bien en el lado secundario del transformador  $T_s$  del STATCOM, tal como se describe brevemente a continuación. De ese modo el dispositivo 13 de convertidor elevador recibe energía a partir de terminales de CA del compensador 11 estático.

El transformador 15 puede estar alternativamente conectado al lado secundario del transformador  $T_s$  del STATCOM, tal como se indica mediante la línea discontinua en la figura 5. Esto puede ser ventajoso si el transformador  $T_s$  del STATCOM forma parte de una disposición de filtro. Además, puede concebirse alimentar el dispositivo 13 de convertidor elevador por medio de una alimentación de CA separada, tal como se ilustra esquemáticamente en 18 en la figura 4.

5 La figura 6 ilustra una primera implementación a modo de ejemplo del dispositivo 13 de convertidor elevador. El dispositivo 13a de convertidor elevador puede ser un convertidor de tiristor implementado para un flujo de corriente unidireccional, tal como se muestra en la figura 6. Esta implementación es adecuada si el dispositivo 12 de almacenamiento de energía se carga eléctricamente mediante alguna disposición separada no ilustrada. Por ejemplo, el dispositivo 12 de almacenamiento de energía puede cargarse mediante un rectificador separado alimentado a partir de un generador local, tal como una reserva diésel. Otra situación en la que esta implementación del dispositivo 13a de convertidor elevador es adecuada es cuando la energía principal no es eléctrica, por ejemplo pilas de combustible o energía solar. Dado que el dispositivo 13a de convertidor elevador en esta realización es unidireccional, no puede cargar el dispositivo 12 de almacenamiento de energía.

10 En resumen, un convertidor de tiristor comprende un puente de seis pulsos (o un puente monofásico) de válvulas de tiristor. En cada rama del puente se apilan varios dispositivos de tiristor para formar una cadena en serie que tiene suficiente capacidad de gestión de tensión para la aplicación. La función de control de tensión se basa en la activación controlada de las válvulas con respecto a la tensión en el lado de CA, tal como conoce un experto en la técnica. La conmutación de las válvulas se basa en la tensión de CA aplicada y no requiere ningún control de acción. Los dispositivos de tiristor son dispositivos muy robustos y fiables. Proporcionan una alta capacidad de gestión de tensión con un coste mínimo y tienen pocas pérdidas.

15 La figura 7 ilustra una segunda implementación a modo de ejemplo del dispositivo 13b de convertidor elevador. El dispositivo 13b de convertidor elevador es de nuevo un convertidor de tiristor, pero en este caso implementado para un flujo de corriente bidireccional. Tal flujo de corriente bidireccional se indica en las figuras 4 y 5 mediante signos más y menos encima del dispositivo 13 de convertidor elevador. El dispositivo 13b de convertidor elevador se usa para cargar el dispositivo 12 de almacenamiento de energía así como para proporcionar la salida de potencia real requerida. Esto se logra mediante el circuito 16 inferior y el circuito 17 superior, respectivamente. Por tanto, la energía puede fluir desde el dispositivo 12 de almacenamiento de energía hacia la red 14 o en el sentido opuesto, al contrario que en la realización de la figura 6.

20 Debe observarse que pueden usarse diversos enfoques para suavizar la corriente del lado de CC en el dispositivo 13 de convertidor elevador. Pueden proporcionarse inductancias o bien en el lado de CC o bien en el lado de CA.

El dispositivo 13 de convertidor elevador puede equiparse con dispositivos de semiconductor de desconexión que tienen capacidad de bloqueo inverso, por ejemplo usando componentes tales como GTO (tiristor de desconexión por compuerta) o IGBT (transistor bipolar de compuerta aislada) y diodos. En tal caso el dispositivo 13 de convertidor elevador también puede producir potencia reactiva hacia la red 14.

25 En ambas realizaciones del dispositivo 13 de convertidor elevador, lo más probable es que se requiera un condensador de CC y preferiblemente se conecta un reactor de suavizado entre el convertidor 13a, 13b de tiristor y el condensador de CC para reducir la ondulación. Con el fin de destacar las ventajas de la presente invención a continuación se facilitará un ejemplo de configuración de régimen sencillo.

30 Se supone que el STATCOM 11 está diseñado para suministrar (régimen configurado para) 100 MVAR a 1500 Arms. La tensión de línea a línea de CA es entonces  $U_v = 38,5$  kVrms (véanse las figuras 4 y 5). La tensión de CC mínima correspondiente del STATCOM es aproximadamente  $U_d = 75$  kV. Además, se supone que el STATCOM 11 debe suministrar 10 MW de potencia real además de los 100 MVAR de potencia reactiva y que la tensión de CC del dispositivo 12 de almacenamiento de energía varía un 50%. La tensión del dispositivo 12 de almacenamiento de energía varía por tanto entre el mínimo requerido de 75 kV y hasta completamente cargado a 112,5 kV.

35 Si el dispositivo 12 de almacenamiento de energía se conectara directamente al bus de CC del STATCOM 11, es decir según la técnica anterior, entonces la tensión de CC máxima que debería gestionar el STATCOM 11 sería  $U_{dmax} = 1,50 * 75$  kV = 112,5 kV. El régimen del circuito principal del STATCOM es entonces de 150 MVAR, es decir tiene que ampliarse en 50 MVA debido a la variación en la tensión de CC del dispositivo 12 de almacenamiento de energía.

40 Sin embargo, si el dispositivo 12 de almacenamiento de energía se conecta según la invención, entonces hay dos casos, dependiendo de la implementación del dispositivo 13 de convertidor elevador:

1) Dispositivo de convertidor elevador que produce tensión unidireccional:

45 Cuando se selecciona la tensión de CC máxima del dispositivo 12 de almacenamiento de energía para que sea  $U_{bmax} = U_{dn} = 75$  kV, donde  $U_{dn}$  es la tensión de CC nominal requerida para el STATCOM 11, entonces la tensión del dispositivo de almacenamiento de energía variará entre 50 kV y 75 kV (es decir 50 kV + 50%). Entonces se necesita una tensión en serie variable de  $0 \leq U_{dA} \leq 25$  kV en serie con el dispositivo 12 de almacenamiento de energía. La corriente máxima se produce a la tensión de CC mínima del dispositivo 12 de almacenamiento de energía y es  $I_{dmax} = 10$  MW/50 kV = 0,20 kA. El régimen del dispositivo 13 de convertidor elevador se convierte entonces en  $S_{elevador} = U_{dAmax} * I_{dmax} = 25$  kV \* 0,2 kA = 5,0 MVA. Por tanto el régimen del dispositivo 13 de convertidor elevador es de sólo el 10% de la ampliación de régimen del convertidor necesaria en el caso en el que el dispositivo de almacenamiento de energía está conectado según la técnica anterior, es decir conectado directamente al lado de CC del STATCOM. Es decir, mientras que la solución de la técnica anterior requiere que el STATCOM se amplíe desde 100 MVAR hasta 150 MVAR, es decir se amplíe en 50 MVAR, debido a la variación en la tensión de CC del dispositivo de almacenamiento de energía, la presente invención sólo requiere el 10% de esa ampliación, es decir sólo 5 MVAR. Esto ilustra que pueden proporcionarse ahorros de coste muy grandes por medio de la presente invención.

65

2) Dispositivo de convertidor elevador que produce tensión bidireccional:

5 Los convertidores de fuente de corriente pueden producir una tensión en el lado de CC con cualquier polaridad. La tensión máxima en el modo de inversión ( $\alpha \approx 90^\circ-180^\circ$ ) es algo inferior a la tensión producida en el modo de rectificación ( $\alpha \approx 0^\circ-90^\circ$ ). Se supone que la relación entre la tensión en el modo de rectificador y el modo de inversor es de 1:0,8. Entonces la tensión del dispositivo de almacenamiento de energía puede variar en el intervalo de  $58,3 \text{ kV} \leq U_b \leq 88,0 \text{ kV}$  correspondiente a una tensión en serie variable y  $-13,0 \leq U_{dA} \leq +16,3 \text{ kV}$ . La corriente CC máxima se produce a la tensión de dispositivo de almacenamiento de energía mínima y por tanto se convierte en  $I_{d\max} = 10 \text{ MW} / 58,7 \text{ kV} = 0,170 \text{ kA}$ . El régimen del dispositivo 13 de convertidor elevador se convierte entonces en  $S_{\text{elevador}} = U_{dA\max} * I_{d\max} = 16,3 \text{ kV} * 0,17 \text{ kA} = 2,8 \text{ MVA}$ . Es decir, puede obtenerse un ahorro de costes aún mayor en comparación con la solución de la técnica anterior.

10 Los cálculos anteriores muestran claramente ventajas de la presente invención en comparación con la técnica anterior. Mediante la presente invención se eliminan los costes para sobredimensionar la tensión de CC nominal en el STATCOM tal como se hace en la técnica anterior. Además, los cálculos anteriores ilustran que el régimen del dispositivo 13 de convertidor elevador sólo es una parte del régimen del STATCOM.

15 En ambas realizaciones del dispositivo 13 de convertidor elevador, probablemente se requiere un condensador de CC y se conecta un reactor de suavizado entre el dispositivo 13 de convertidor elevador y el condensador de CC. Suponiendo condiciones idealizadas, se requiere la siguiente corriente y tensión de CA:

Para una tensión de elevador unidireccional se aplica lo siguiente:

$$U_A = \frac{U_{dA\max}}{\frac{3\sqrt{2}}{\pi}} = 25/1,35 = 18,5 \text{ kVrms}$$

20 La relación de tensión del transformador se convierte por tanto en  $18,5/38,5 = 0,48:1$ . La corriente del lado de CA es

$$I_{A\max} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_{dA\max} = 0,816 \times 0,20 = 0,163 \text{ kArms}$$

Para una tensión de elevador bidireccional se aplica lo siguiente:

$$U_A = \frac{U_{dA\max}}{\frac{3\sqrt{2}}{\pi}} = 16,3/1,35 = 12,1 \text{ kVrms}$$

La relación de tensión del transformador se convierte por tanto en  $12,1/38,5 = 0,31:1$ . La corriente del lado de CA es

25 
$$I_{A\max} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_{dA\max} = 0,816 \times 0,17 = 0,138 \text{ kArms}$$

Puede realizarse una optimización adicional de la correspondencia de tensión, con respecto al régimen del dispositivo 13 de convertidor elevador.

30 En la mayoría de las circunstancias es poco probable que el dispositivo 13 de convertidor elevador funcione en modo de inversor, incluso aunque se use la realización mostrada en la figura 7. Es decir, incluso aunque se use el enfoque de tensión bidireccional. El motivo para ello es que la mayor tensión de batería se produce cuando está cargándose la batería. Entonces parte de la potencia de carga activa se suministra a través del puente del dispositivo de convertidor elevador que tiene el sentido de corriente negativo (se hace referencia a las figuras 6 y 7 para los sentidos de corriente) que funciona en modo de rectificación. De manera similar, la menor tensión de batería aparecerá cuando está descargándose la batería y entonces el puente del dispositivo de convertidor elevador que tiene sentido de corriente positivo está funcionando en modo de rectificación.

35 Se observa además que con frecuencia la potencia real sólo se proporcionará durante un periodo de tiempo bastante corto, por ejemplo de 5 - 30 minutos. Este periodo de tiempo es ciertamente más corto que la constante de tiempo térmica en el transformador y el inductor de suavizado y puede ser posible configurar el régimen de estos componentes para un régimen continuo inferior. Es decir, el transformador y el inductor de suavizado no se sobrecalentarán durante este corto periodo de tiempo, permitiendo un régimen inferior. El mismo régimen reducido puede ser posible para la válvula así como para la batería de condensadores. Por tanto se logran ahorros de coste adicionales.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Sistema de compensador (11) estático para proporcionar potencia reactiva y/o activa a una red (14) de potencia, comprendiendo dicho sistema un compensador (11) estático que comprende un condensador de CC ( $U_d$ ) y un convertidor (10) de fuente de tensión conectados en paralelo, estando dicho compensador (11) estático conectado a un dispositivo (12) de almacenamiento de energía, comprendiendo además el sistema un dispositivo (13) de convertidor elevador conectado en serie a dicho dispositivo (12) de almacenamiento de energía, en el que dicho dispositivo (13) de convertidor elevador y dicho dispositivo (12) de almacenamiento de energía están conectados en paralelo a dicho condensador de CC ( $U_d$ ) de dicho compensador (11) estático, y en el que dicho dispositivo (13) de convertidor elevador y dicho dispositivo (12) de almacenamiento de energía están conectados en paralelo a dicho convertidor (10) de fuente de tensión de dicho compensador (11) estático, **caracterizado porque** el dispositivo (13) de convertidor elevador está dispuesto para alimentarse por medio de una alimentación de CA separada o dispuesto para recibir energía mediante un transformador (15) a partir de terminales de CA de dicho compensador (11) estático.
- 10 2. Sistema de compensador (11) estático según la reivindicación 1, en el que dicho compensador (11) estático comprende además un transformador ( $T_s$ ), y en el que dicho transformador (15) conectado a dicho dispositivo (13) de convertidor elevador está conectado a los terminales de CA de dicho compensador (11) estático mediante dicho transformador ( $T_s$ ) de dicho compensador (11) estático.
- 15 3. Sistema de compensador (11) estático según la reivindicación 1 ó 2, en el que dicho dispositivo (13) de convertidor elevador comprende un convertidor de fuente de corriente.
- 20 4. Sistema de compensador (11) estático según la reivindicación 3, en el que dicho convertidor de fuente de corriente comprende válvulas de tiristor.
5. Sistema de compensador (11) estático según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho dispositivo (13) de convertidor elevador está dispuesto para gestionar una diferencia de tensión entre dicho dispositivo (12) de almacenamiento de energía y dicha fuente de CC ( $U_d$ ).
- 25 6. Sistema de compensador (11) estático según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho dispositivo (13) de convertidor elevador está dispuesto para cargar dicho dispositivo (12) de almacenamiento de energía.
7. Sistema de compensador (11) estático según cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que dicho dispositivo (13) de convertidor elevador comprende medios para producir tensión unidireccional.
8. Sistema de compensador (11) estático según cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en el que dicho dispositivo (13) de convertidor elevador comprende medios para producir tensión bidireccional.
- 30 9. Sistema de compensador (11) estático según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho condensador de CC ( $U_d$ ) de dicho compensador (11) estático está dispuesto para mantener una tensión de CC constante hacia dicho convertidor (10) de fuente de tensión de dicho compensador (11) estático.
- 35 10. Sistema de compensador (11) estático según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho dispositivo (12) de almacenamiento de energía comprende un condensador de CC, un supercondensador, una batería electroquímica, una pila de combustible o módulos fotovoltaicos.
11. Sistema de compensador (11) estático según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho dispositivo (13) de convertidor elevador comprende medios para producir potencia reactiva hacia dicha red (14).
12. Compensador (11) estático según la reivindicación 11, en el que dichos medios para producir potencia reactiva comprenden dispositivos de semiconductor de desconexión, tales como tiristores de desconexión por compuerta.

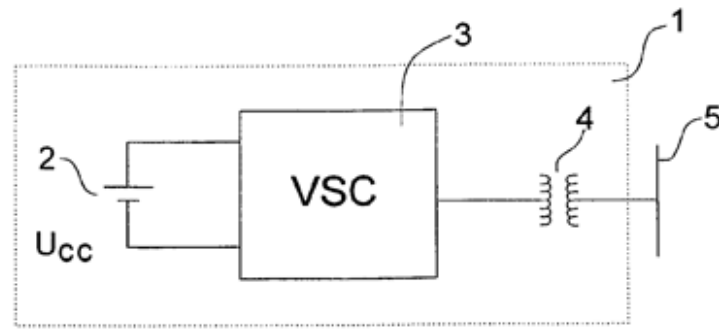


Fig. 1 (técnica anterior)

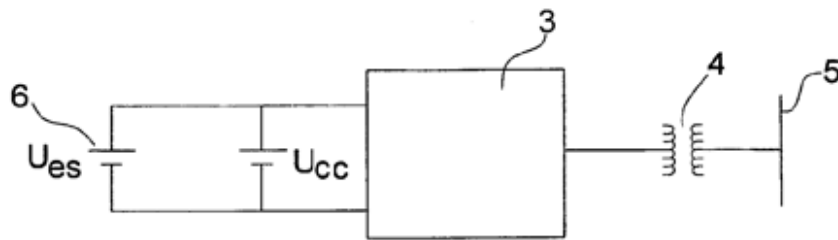


Fig. 2 (técnica anterior)

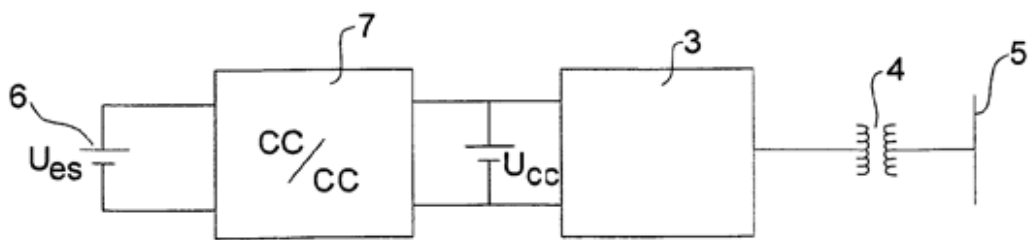


Fig. 3 (técnica anterior)



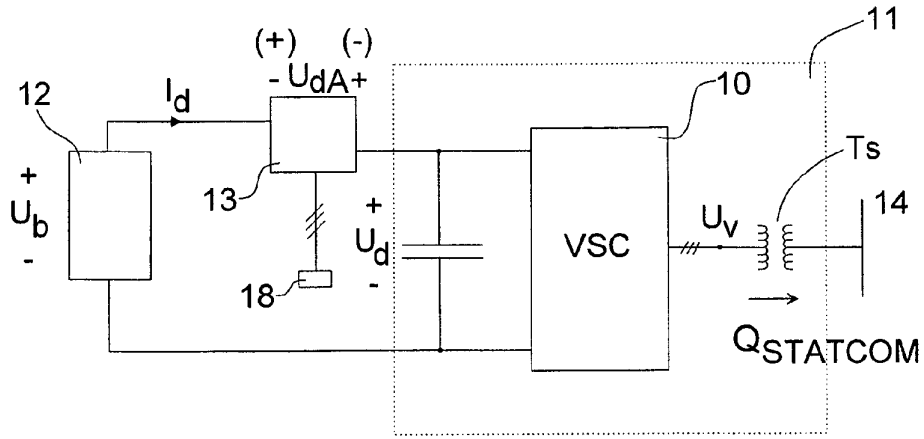


Fig. 4

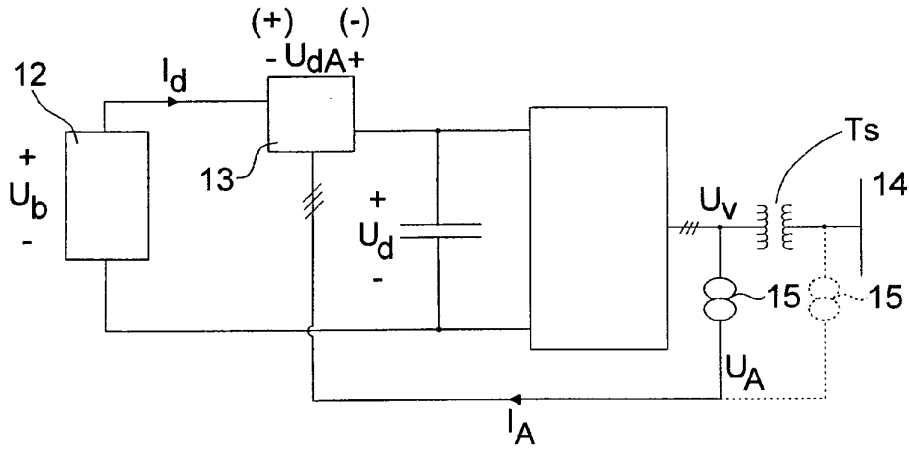


Fig. 5

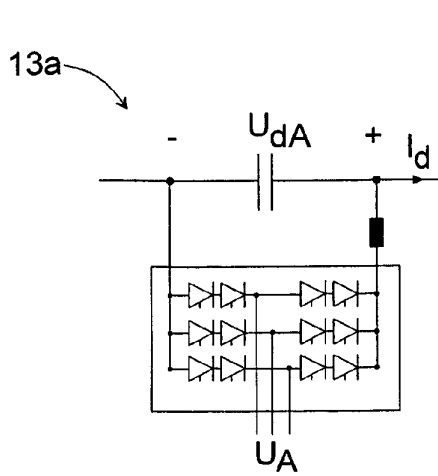


Fig. 6

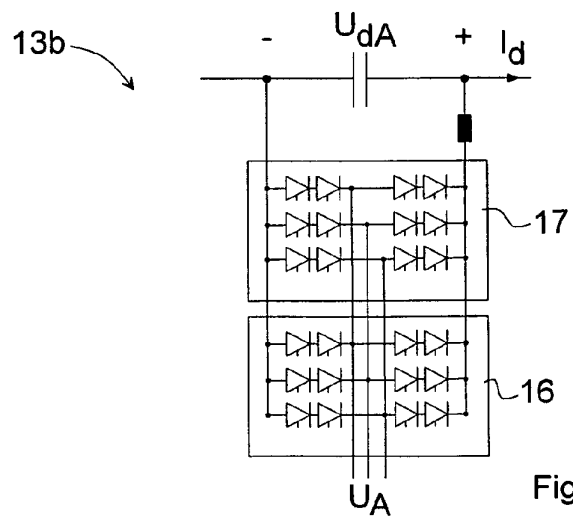


Fig. 7