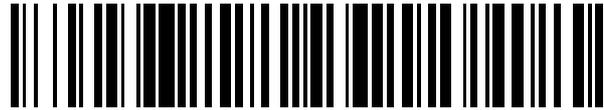


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 732 456**

51 Int. Cl.:

**H02J 3/36**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.02.2015 PCT/EP2015/052299**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.08.2016 WO16124234**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.02.2015 E 15704268 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.03.2019 EP 3235093**

54 Título: **Procedimiento para la regulación del flujo de potencia en una red de tensión continua así como un dispositivo para la realización del procedimiento**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**22.11.2019**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**DÖRING, DAVID;  
EBNER, GÜNTER;  
WÜRFLINGER, KLAUS y  
ZELLER, MARCUS**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 732 456 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la regulación del flujo de potencia en una red de tensión continua así como un dispositivo para la realización del procedimiento.

5 La presente invención hace referencia a un procedimiento para la regulación de potencia en una red de tensión continua que conecta una pluralidad de convertidores.

10 Las redes de tensión continua y su funcionamiento corresponden a los importantes desarrollos en el campo de la tecnología de transmisión de corriente continua de alta tensión. En el futuro, en este tipo de redes de tensión continua, que se realizan como los así denominados sistemas multiterminales o también redes en malla, tendrá lugar una parte de la transmisión y del suministro de energía eléctrica. Los convertidores conectados mediante la red de tensión continua pueden entonces operar como rectificadores o inversores.

15 La regulación de potencia, o sea la regulación del flujo de potencia en la red de tensión continua, tiene generalmente la función de garantizar una estabilización de la red de tensión continua en el caso de una sobrealimentación que puede conducir a una sobretensión en la red de tensión continua y/o en el caso de una subalimentación, cuando se toma más potencia de la red de tensión continua de la que se suministra a la misma. Para ello, se utiliza en la mayoría de los casos un valor de medición de tensión y/o de potencia, medido localmente. En la práctica, sin embargo, por razones tecnológicas, los valores de medición necesarios en la mayoría de los casos no se pueden detectar con exactitud. De hecho, los mismos presentan una desviación sistemática. Esto puede ocasionar considerables cambios de potencia entre las estaciones. Una aparición de caídas de tensión óhmicas a lo largo de las líneas de tensión continua de la red de tensión continua provoca por ejemplo diferentes resultados de medición en los convertidores conectados mediante las líneas de tensión continua en cuestión. Por consiguiente, las desviaciones sistemáticas de los valores de medición no son entonces evitables o controlables.

20 De la solicitud WO 2012/000549 A1 se conoce un procedimiento de acuerdo con el concepto general de la reivindicación 1.

25 El objeto de la presente invención consiste en proponer una regulación de potencia en una red de tensión continua conforme a la clase, la cual posibilite un funcionamiento seguro y fiable en la red de tensión continua.

30 El objeto se resuelve conforme a la invención mediante un tipo de procedimiento, en el cual al menos al primer convertidor está asignada una estática para una variable de control del primer convertidor; a cada uno de los convertidores está asignado un error de control local; en donde el error de control local se corresponde en cada caso con una diferencia entre un valor de variable real medido en el convertidor y un valor de variable teórico asignado al convertidor; y la estática del primer convertidor se corrige en función de una variable de corrección; en donde la variable de corrección se conforma como una diferencia entre una variable de comparación y el error de control local del primer convertidor; en donde la variable de comparación se deriva de un error de control local de al menos otro convertidor; y en donde la estática se corrige de modo tal que la magnitud absoluta de la variable de corrección se reduce.

35 Por consiguiente, para la regulación del primer convertidor está predeterminada una variable de control. La variable de control puede ser por ejemplo una tensión, una corriente o también una potencia transmitida mediante el primer convertidor. La variable de control debe ser controlada en base a un valor de variable teórico predeterminado. Para ello, se compara un valor de variable real del valor de control, medido en el momento, con el valor de variable teórico y una diferencia conformada se envía como un error de control a un adecuado controlador. Mediante el controlador, se ajusta una variable de ajuste de la regulación, de modo tal que la variable de control al menos aproxima su valor al valor de variable teórico. La variable de ajuste puede estar dada por ejemplo por una tensión ajustada en el convertidor.

40 La estática es una curva característica de control inequívoca, preferentemente lineal. La curva característica de control establece el valor de la variable de ajuste para el valor de variable real medido. Esto se puede realizar en el caso más sencillo mediante un elemento de curva característica.

45 Son concebibles distintas estáticas, por ejemplo una estática de corriente-tensión o una estática de potencia-tensión.

50 Conforme a la invención, la estática se utiliza para regular adicionalmente el error de control local lo más posible en base al valor de la variable de comparación. En la variable de comparación se considera entonces el error de control local de al menos otro convertidor en la red de tensión continua. De esta manera, se puede contrarrestar la causa del error de control y distribuir de manera uniforme el flujo de potencia total en la red de tensión continua a los convertidores conectados por la red de tensión continua.

Según una forma de ejecución preferida de la invención, la estática es una estática de potencia-tensión; en donde la variable de control corresponde a una potencia eléctrica transferida en el primer convertidor. En correspondencia con ello, la tensión ajustada del lado de la tensión continua en el primer convertidor, es la variable de ajuste de la regulación.

5 Junto al valor de variable teórico predeterminado, que preferentemente es un valor teórico de potencia, puede estar también predeterminado un valor teórico de tensión, el cual debe ser respetado por el primer convertidor. En este caso, la especificación del valor teórico de potencia y del valor teórico de tensión establece, conjuntamente con una correspondiente regla de función, la evolución de la curva característica de control. En correspondencia con ello, la estática se puede representar gráficamente en un diagrama de potencia-tensión. Conforme al valor de variable real  
10 medido, aquí un valor real de potencia, en base a la curva característica de control se puede leer la tensión que debe ajustarse, o bien derivar mediante el elemento de curva característica.

Preferentemente, la estática está dada por una curva característica de control lineal, en donde la corrección corresponde a un desplazamiento paralelo de la curva característica de control. En un diagrama de tensión-potencia, en el cual la potencia está registrada sobre la abscisa y la tensión sobre la ordenada, la estática está definida por  
15 consiguiente mediante una recta o bien mediante un grupo de rectas. Para un convertidor que opera como inversor, la recta presenta apropiadamente una inclinación positiva. Para un convertidor que opera como rectificador, la recta presenta apropiadamente una inclinación negativa. Una estática con una inclinación positiva significa un desplazamiento paralelo de la curva característica de control en dirección a valores de tensión mayores, lo que en un valor real de potencia dado fundamentalmente ajusta una mayor tensión en el convertidor. En el caso del  
20 convertidor que funciona como inversor esto tiene como consecuencia que condicionadamente por la tensión (del lado de la tensión continua) del convertidor, ajustada más elevada, se transmite menos potencia desde la red de tensión continua a una red de tensión alterna conectada del lado de la tensión alterna del convertidor. La potencia en este convertidor desciende entonces en la magnitud absoluta. Esta circunstancia se puede utilizar para adaptar el error de control local del primer convertidor a la variable de comparación.

25 Para la siguiente explicación se parte del ejemplo de que el error de control es un error de potencia, o sea la diferencia entre el valor real de potencia y el valor teórico de potencia. Cuando por ejemplo, el error de control en el primer convertidor es siempre menor que la variable de comparación, lo cual corresponde a una variable de corrección positiva, entonces la estática debe modificarse de modo que el error de control aumente. Para ello, se debe elevar la potencia en el primer convertidor. Cuando el convertidor opera como un inversor, esto significa  
30 entonces, que el primer convertidor suministra más potencia desde la red de tensión continua a la red de tensión alterna asignada al primer convertidor. Para conseguir esto, la tensión en el primer convertidor debe ajustarse fundamentalmente menor. Esto se puede conseguir desplazando la curva característica de control hacia tensiones menores. Lo mismo puede ocurrir gráficamente o bien mediante el desplazamiento del mismo valor "Pobjetivo" a un valor "Uobjetivo" menor (desplazamiento de la curva característica "hacia abajo"), o sino mediante el mantenimiento  
35 del mismo valor "Uobjetivo" y la elevación del correspondiente valor "Pobjetivo" (desplazamiento "hacia la derecha").

En correspondencia con este ejemplo se pueden derivar reglas para las correcciones de la estática para variables de corrección negativas.

Los errores de control locales asignados al convertidor en la red de tensión continua, no se corresponden necesariamente de manera directa con un error en la variable de control. El error de control local puede más bien  
40 derivarse de cada variable de medición dotada de un error sistemático. Ya que por ejemplo tanto la medición de potencia como también la medición de tensión pueden estar afectadas con un error sistemático, resulta concebible, adaptar tanto la tensión como también la potencia a un valor de comparación mediante la corrección de la estática. En correspondencia con lo anterior, los errores de control locales pueden ser errores de potencia locales, errores de tensión locales, o incluso también combinaciones lineales de errores de potencia y de tensión. Los factores de las  
45 combinaciones lineales deben seleccionarse entonces de modo que los mismos normalicen las diferentes unidades de la potencia y la tensión.

Existen diversas posibilidades para definir la variable de comparación para el cálculo de la variable de corrección. Según una forma de ejecución preferida de la invención, la variable de comparación corresponde a una media del error de control local. La media del error de control local se puede determinar, por ejemplo, por la adición del error de control local del primer convertidor y del error de control local del otro convertidor, así como por una correspondiente normalización de la suma calculada. Cuando los errores locales se identifican en general con  $\Delta X_1$ ,  $\Delta X_2$ , entonces para su media  $\Delta X_{media}$ , vale que  $\Delta X_{media} = 1/2 * (\Delta X_1 + \Delta X_2)$ . Es igualmente posible utilizar la media de todos los errores de control locales de todos los convertidores en la red de tensión continua o la media de los errores de control locales de un subgrupo predeterminado de los convertidores. En el caso de que se utilicen por ejemplo N  
50 convertidores para la determinación de la variable de comparación, entonces la media se puede calcular conforme a la siguiente fórmula:  $\Delta X_{media} = 1/N * (\Delta X_1 + \Delta X_2 + \dots + \Delta X_N)$ . Nuevamente se presentan aquí diversas posibilidades para determinar la media a partir de los errores de control locales.

Según una forma de ejecución, el error de control local del otro convertidor se transmite al primer convertidor y mediante un formador de valor medio se calcula la media del primer convertidor. Así, la media se calcula en una adecuada unidad informática del primer convertidor. Es concebible que todos los convertidores transmitan sus errores de control local a todos los convertidores restantes, de modo que la media se pueda calcular en una unidad informática en cada uno de los convertidores. El cálculo de la media se realiza entonces de manera descentralizada. Por consiguiente, se puede omitir una unidad informática central para el cálculo de la media.

Según otra forma de ejecución, los errores de control locales se transmiten a una estación maestra central; en donde la media se calcula en la estación maestra central. El cálculo de la media se realiza entonces de manera centralizada, lo cual minimiza ventajosamente la cantidad de datos que deben ser transmitidos.

Según una tercera forma de ejecución, la media se calcula de manera descentralizada en el primer convertidor; en donde el cálculo se realiza por iteración. Por consiguiente, en una unidad configurada para tal fin, se calcula una variable de corrección parcial T1 del primer convertidor, en donde la variable de corrección parcial T1 del primer convertidor es igual a la suma del error de control local  $\Delta X1$  del primer convertidor y una variable de suma S1 del primer convertidor; en donde la variable de suma S1 del primer convertidor es dependiente de una variable de transmisión U21 del otro convertidor, calculada previamente, transmitida al primer convertidor; una variable de transmisión U12 que debe ser transmitida por el primer convertidor al otro convertidor, se calcula como la diferencia entre la variable de corrección parcial T1 del primer convertidor y la variable de transmisión U21 transmitida por el otro convertidor al primer convertidor, y a continuación la misma se transmite al otro convertidor; una variable de corrección parcial T2 del otro convertidor se calcula nuevamente como la suma del error de control local  $\Delta X2$  del otro convertidor y de una variable de suma S2 del otro convertidor; en donde la variable de suma S2 del otro convertidor es dependiente de la variable de transmisión U12 transmitida por el primer convertidor; la variable de transmisión U21 del otro convertidor, que debe ser transmitida al primer convertidor, se calcula nuevamente como la diferencia entre la variable de corrección parcial T2 del otro convertidor y la variable de transmisión U12 transmitida por el primer convertidor al otro convertidor, y a continuación la misma se transmite al primer convertidor; y la media se deriva mediante la normalización de la variable de corrección parcial T1 del primer convertidor, después de una determinada cantidad de pasos de iteración. El cálculo iterativo tiene la ventaja de que la información se debe intercambiar solamente entre convertidores dispuestos con proximidad.

Cuando una pluralidad, por ejemplo, N convertidores de la red de tensión continua participan en la corrección de sus respectivas estáticas asignadas, entonces este método se amplía a estos N convertidores. Para ello, es condición que los convertidores puedan comunicarse mutuamente, o sea que puedan intercambiar datos entre sí. Los convertidores conforman entonces una red de comunicación, en donde los convertidores conforman nodos de red y las líneas de comunicación entre los convertidores, bordes de red de la red de comunicación. Para la determinación de la media de los errores de control local, no resultan necesarias todas las posibles líneas de comunicación. La red de comunicación se define más bien de modo tal que todos los convertidores están conectados entre sí (al menos indirectamente), aunque la red de comunicación no conforma una malla. Esto tiene la ventaja de que ante la falla de una línea de comunicación, una conexión no utilizada hasta el momento puede ser tomada para la transmisión de datos entre los convertidores en la red de comunicación, de modo que en este caso, mediante una nueva definición de la red de comunicación se puede mantener la función del cálculo de la media.

El cálculo de las variables intermedias del procedimiento, descritas anteriormente, se puede resumir en base a las siguientes fórmulas para el convertidor k-ten,  $1 \leq k \leq N$ :

$$T_k = \sum U_{ik} + \Delta X_k;$$

$$U_{ki} = T_k - U_{ik},$$

en donde  $T_k$  indica la variable de corrección parcial del convertidor k-ten,  $\Delta X_k$  el error de control local del convertidor k-ten,  $i$  debe entenderse en representación de un índice que corre a lo largo de todos los convertidores excepto el convertidor k-ten, y  $U_{ik}$  la variable de transmisión, calculada anteriormente, transmitida por el convertidor i-ten al convertidor k-ten, y la  $\sum$  significa una sumatoria usual sobre  $i$  como índice ( $\sum U_{ik} = U_{1k} + \dots + U_{Nk}$ ,  $i$  desigual a  $k$ ).

Vale remarcar que en este procedimiento, en el primer paso de iteración las variables de transmisión ya deben tener un valor definido. Resulta sin embargo suficiente cuando en este primer paso del procedimiento se establece por ejemplo  $U_{ik} = 0$  para todos  $i$ .

Para el convertidor k-ten, después de algunos pasos de iteración, el valor  $T_k/N$  se acerca a la media de todos los errores de control locales de los N convertidores. Cuando el valor  $T_i/N$  se calcula de esta manera en todos los convertidores, entonces la media determinada de esta manera es igual en todos los convertidores.

- 5 Según una forma de ejecución de la invención, la variable de corrección, a partir de los errores de control local de al menos otros dos convertidores, se forma como la diferencia entre una media de los errores de control de al menos otros dos convertidores y el error de control del primer convertidor. Esto significa que por ejemplo en lugar de una media global de los errores de control locales de todos los convertidores, se calcula solamente una media local sobre los convertidores dispuestos en proximidad al primer convertidor.
- 10 De manera preferida, se corrigen las estáticas asignadas a una pluralidad de convertidores de una red de tensión continua, preferentemente a todos los convertidores de la red de tensión continua; en donde las correcciones se realizan en base a la condición de que una potencia total en la red de tensión continua se mantenga constante. La potencia total resulta de una suma de todas las potencias eléctricas suministradas a la red de tensión continua, y obtenidas en la red de tensión continua.
- La invención hace referencia, además, a un dispositivo para transferir potencia eléctrica que comprende una red de tensión continua, la cual conecta una pluralidad de convertidores.
- El objeto de la presente invención consiste en proponer un dispositivo acorde a la clase, con el cual sea posible una transmisión de potencia lo más fiable posible.
- 15 Dicho objeto, se resuelve para un dispositivo conforme a la clase cuando el dispositivo comprende una unidad de regulación que está configurada para realizar el procedimiento anteriormente descrito.
- Mediante el dispositivo conforme a la invención se pueden conseguir todas las ventajas que ya fueron descritas en relación con el procedimiento conforme a la invención.
- 20 A continuación, la invención se explica más detalladamente por medio de los ejemplos de ejecución que están representados en las figuras 1 - 7.
- La figura 1 muestra, en una representación esquemática, un ejemplo de una red de tensión continua ramificada sin mallas;
- La figura 2 muestra, en una representación esquemática, un ejemplo de una estática para la regulación de un convertidor;
- 25 La figura 3 muestra un ejemplo de ejecución de procedimiento conforme a la invención, en una representación esquemática;
- La figura 4 muestra un primer ejemplo de una determinación de un error de potencia medio, en una representación esquemática;
- 30 La figura 5 muestra un segundo ejemplo de la determinación del error de potencia medio, en una representación esquemática;
- La figura 6 muestra un tercer ejemplo de la determinación del error de potencia medio, en una representación esquemática;
- La figura 7 muestra un ejemplo de una determinación de una variable de comparación, en una representación esquemática;
- 35 La figura 1 muestra en una representación esquemática un ejemplo para una red de tensión continua 1, la cual está realizada en una disposición multiterminal. La red de tensión continua 1 conecta un primer convertidor 2, otro convertidor 3, así como dos convertidores restantes de los cuatro convertidores, es decir, un tercer convertidor 4 y un cuarto convertidor 5. Todos los convertidores representados en la figura 1 están vinculados del lado de la tensión continua a la red de tensión continua 1 y del lado de la tensión alterna respectivamente a una red de tensión alterna.
- 40 En el ejemplo de ejecución representado en la figura 1, el primer convertidor 2 opera como un inversor. Por consiguiente, el primer convertidor 2 transmite potencia eléctrica desde la red de tensión continua 1 a la red de tensión alterna 6 asignada al primer convertidor. El procedimiento conforme a la invención puede realizarse para uno o varios de los convertidores 3 - 5.
- 45 La figura 2 muestra un ejemplo de una estática 7, que está asignada al primer convertidor 2 de la figura 1. La estática 7 es una estática de potencia-tensión. La estática 7 está representada gráficamente en un diagrama. Sobre la abscisa P del diagrama está representada la potencia transmitida al primer convertidor. En la ordenada U del diagrama está aplicada la tensión que debe ajustarse en el primer convertidor 2. Con Pobjetivo está indicado en el diagrama el valor teórico de potencia predeterminada en el momento. Con Uobjetivo está indicada en el diagrama la

tensión teórica predeterminada en el momento. La estática se define por una curva característica de control. La curva característica de control es lineal en el ejemplo de ejecución representado y está representada en el diagrama por una recta, la cual presenta una inclinación predeterminada y se extiende a través del punto dado por la potencia teórica  $P_{objetivo}$  y la tensión teórica  $U_{objetivo}$ .

- 5 La corrección de la estática 7 se puede realizar mediante un desplazamiento paralelo de la curva característica de control, como está representado en la figura 2. Para ello, la curva característica de control 8 se desplaza por ejemplo en la dirección de la flecha 9. De esta manera, se genera una nueva curva característica de control 10 corregida.

10 La figura 3 ilustra de manera esquemática el proceso de regulación del primer convertidor, así como la corrección de la estática. Para la regulación del primer convertidor se utilizan una especificación de valor teórico de potencia 11, la cual proporciona un valor teórico de potencia  $P_{objetivo}$ ; así como una especificación de valor teórico de tensión 12, la cual provee un primer valor teórico de tensión  $U_{objetivo}$ . Simultáneamente, mediante un dispositivo de medición 13 se mide el valor real de potencia  $P_{real}$  en el convertidor. El valor real de potencia  $P_{real}$  y el valor teórico de potencia  $P_{objetivo}$  se comparan entre sí mediante un formador de diferencia 14, y a partir de ello se forma una diferencia de control  $\Delta P1$  (en este caso  $\Delta P1$  reemplaza la denominación general  $\Delta X1$ ). A continuación, el error de control  $\Delta P1$  se envía, por un lado, a los convertidores restantes de la red de tensión continua, y por otro lado, a un formador de diferencia 15 y a un formador de valor medio 18. Mediante el formador de diferencia 15, el error de control  $\Delta P1$  del primer convertidor se compara con el anteriormente calculado valor medio  $\Delta P_{media}$  de los errores de control  $\Delta P1$ ,  $\Delta P2$   $\Delta P_N$  locales. En este caso, los errores de control locales  $\Delta P2... \Delta P_N$  se calculan como las diferencia de los valores reales y teóricos de potencia asignados a los respectivos convertidores. Antes, el error de control  $\Delta P1$  se puede filtrar adicionalmente mediante un filtro de baja frecuencia (no representado). A la salida del formador de diferencia 15 se determina de esta manera la variable de corrección  $Cor$ . A continuación, la variable de corrección  $Cor$  se continúa procesando mediante un integrador 16 y se envía posteriormente a un elemento de curva característica apropiado. El elemento de curva característica 17 recibe entonces como entrada por un lado el valor teórico de potencia  $P_{objetivo}$  y el valor teórico de tensión  $U_{objetivo}$ , así como por otro lado la variable de corrección  $Cor$  integrada. A partir de la información de entrada, el elemento de curva característica determina el desplazamiento que debe realizarse de la curva característica de la estática.

30 La figura 4 muestra un ejemplo del cálculo de la media del error de control local. En el ejemplo representado, los errores de control locales son errores de potencia locales:  $\Delta P1$ ,  $\Delta P2$  El primer convertidor 2 comprende una unidad informática 21. La unidad informática contiene un elemento de sumatoria. El error de potencia  $\Delta P1$  local del primer convertidor 2 se mide y a continuación se envía a la unidad informática 21 y a una unidad informática 22, de idéntica construcción, del otro convertidor 4. Al mismo tiempo, se determina un error de potencia  $\Delta P2$  local del segundo convertidor 4 y se envía a la unidad informática 21 del primer convertidor, así como a la unidad informática 22 del segundo convertidor. Allí se suman respectivamente los errores de control locales y se normalizan mediante un correspondiente elemento de normalización 23 ó 24 en base al número de los errores de control calculados, en el presente ejemplo 2. De esta manera, la media  $\Delta P_{media}$  de los errores de control locales se calcula tanto en el primer convertidor 2, como también en el segundo convertidor 4.

40 La figura 5 muestra un ejemplo alternativo del cálculo de la media  $\Delta P_{media}$ . En este ejemplo de ejecución, el error de potencia  $\Delta P1$  local determinado del primer convertidor, y el error de potencia  $\Delta P2$  local determinado del segundo convertidor 4, se envían respectivamente a una estación informática 25 central. La estación informática 25 central calcula entonces la media  $\Delta P_{media}$  de los errores de potencia locales.

45 En base a un ejemplo representado en la figura 6, se explica el cálculo de la media conforme a un método iterativo. Conforme al ejemplo representado, la red de tensión continua comprende seis convertidores 61 a 66, los cuales se comunican entre sí, o sea que intercambian informaciones. Sin embargo, para el cálculo de la media de los errores de potencia  $\Delta P_{media}$  locales, no se utilizan todas las líneas de comunicación entre los convertidores 61 a 66. Las líneas de comunicación se seleccionan más bien de modo que se presente una red de comunicación cuyos nodos de red estén definidos por los convertidores 61 a 66 y sus bodes de red por las líneas de comunicación utilizadas entre los convertidores 61 a 66; en donde la red de comunicación no presenta un mallado. Por ejemplo, mediante flechas discontinuas están indicadas las líneas de comunicación no utilizadas.

50 Los convertidores se transmiten mutuamente variables de transmisión calculadas previamente. Las variables de transmisión contienen información sobre los errores de potencia locales de los convertidores y están indicadas en la figura 6 con  $U_{jk}$ ; en donde  $j$  y  $k$  son índices asignados respectivamente a los convertidores. Así, por ejemplo, en la figura 6, está indicada con  $U_{12}$  la variable de transmisión transmitida por el convertidor 61 al convertidor 62. Debe observarse que en general,  $U_{jk}$  no es igual a  $U_{kj}$ .

55 El cálculo de la media  $\Delta P_{media}$  de los errores de potencia se realiza en este ejemplo iterativamente; en donde en cada uno de los convertidores 61 a 66 deben determinarse una pluralidad de variables intermedias.

Primero esto se explicará en detalle a continuación en el ejemplo del convertidor 61. El convertidor 61 se comunica solamente con el convertidor 63. En el primer paso, se calcula una variable de corrección parcial del convertidor 61:  $T1 = \Delta P1 + S1$ . Aquí,  $\Delta P1$  indica el error de potencia local; y  $S1$ , una variable de suma del convertidor 61. La variable de suma es la suma de todas las variables de transmisión transmitidas al convertidor 61. Ya que según la definida red de comunicación, en la figura 6 representada mediante flechas continuas, el convertidor 61 se comunica solamente con un único convertidor, más específicamente con el convertidor 63, en este caso es  $S1 = U31$ , en donde  $U31$  indica la variable de transmisión transmitida por el convertidor 63 al convertidor 61. En el siguiente paso se transmite al convertidor 63, una variable de transmisión  $U13$  derivada de la variable de corrección parcial. La derivación de la variable de transmisión  $U13$  se genera en este caso conforme a la fórmula  $U13 = T1 - U31$ . A continuación, se puede calcular nuevamente la variable de corrección parcial  $T1$ ; en donde en el nuevo cálculo se utiliza una variable de transmisión  $U31$  calculada y transmitida nuevamente.

Para el convertidor 63, el procedimiento se desarrolla de la siguiente manera: Una variable de corrección parcial  $T3$  se calcula según la fórmula  $T3 = S3 + \Delta P3$ .  $S3$  indica una variable de suma y  $\Delta P3$ , un error local del convertidor 63. La variable de suma  $S3$  resulta según la suma de las variables de transmisión de los convertidores 61, 64 y 65, los cuales conforme a la red de comunicación definida en la figura 6 se comunican con el convertidor 63.  $S3 = U13 + U43 + U53$ . A partir de la variable de corrección parcial, a continuación, se calculan las variables de transmisión  $U31$ ,  $U34$  y  $U35$  que deben ser transmitidas a los convertidores 61, 64 y 65.  $U31 = T3 - U13$ ,  $U34 = T3 - U43$ ,  $U35 = T3 - U53$ . Dichas variables de transmisión sirven para calcular nuevamente en los convertidores 61, 64 y 65 sus variables de corrección parciales  $T1$ ,  $T4$  o bien  $T5$ .

Conforme al procedimiento ilustrado en la figura 6, para el cálculo de la media  $\Delta P_{media}$ , las variables de corrección parcial  $T1$  a  $T6$  se deben determinar en una pluralidad de pasos iterativos. Después de un cierto número de pasos de iteración, las variables de corrección parcial  $T1/N$  a  $T6/N$ , en donde  $N$  corresponde al número de los convertidores un la red de comunicación definida (en el ejemplo representado en la figura 6 es  $N = 6$ ), se aproximan al valor de  $\Delta P_{media}$ , que debe ser determinado; en donde de esta manera en cada uno de los convertidores 61 a 66 se puede determinar el mismo valor de  $\Delta P_{media}$ .

A partir del valor calculado para  $\Delta P_{media}$  se puede derivar la corrección de la estática para cada convertidor 61 a 66 conforme al procedimiento ya descrito.

La figura 7 ilustra un ejemplo alternativo para la determinación de la variable de corrección  $Cor$ . En el ejemplo de ejecución representado, la red de tensión continua conecta un convertidor 71, un segundo convertidor 72, un tercer convertidor 73, así como un cuarto convertidor 74. En cada convertidor se predeterminan un valor de potencia  $P_{objetivo71}$ ,  $P_{objetivo72}$ ,  $P_{objetivo73}$  o bien  $P_{objetivo74}$ , así como un valor de tensión  $U_{objetivo71}$ ,  $U_{objetivo72}$ ,  $U_{objetivo73}$  o bien  $U_{objetivo74}$ . A cada uno de los cuatro convertidores se le asigna además una estática de potencia-tensión. A partir de los valores teóricos de potencia y los valores reales de potencia medidos, para cada uno de los convertidores 71, 72, 73, ó 74 se calculan errores de control locales en forma de errores de potencia  $\Delta P71$ ,  $\Delta P72$ ,  $\Delta P73$  o  $\Delta P74$ . Los convertidores pueden transmitir respectivamente los errores de potencia locales al resto de los convertidores, lo que está sugerido en la figura 7 mediante correspondientes flechas.

Para cada convertidor se define un grupo de estaciones vecinas. En la figura 7 están indicados dos conjuntos de convertidores vecinos: Un conjunto  $MN71$  de convertidores vecinos para el primer convertidor 71 y un conjunto  $MN72$  de convertidores vecinos para el segundo convertidor 72. El conjunto  $MN71$  comprende al segundo convertidor 72 y al cuarto convertidor 74. El conjunto  $MN72$  comprende al primer convertidor 71 y al tercer convertidor 73. De la misma manera se definen también los conjuntos de convertidores vecinos para los convertidores restantes. Para la funcionalidad de la determinación de la variable de corrección resulta necesario en este caso que los conjuntos de los convertidores vecinos para los cuatro convertidores en la figura 7 se superpongan. El convertidor 71 calcula la variable de corrección  $Cor71$  a partir de las informaciones disponibles para el convertidor 71 sobre los errores de control locales de los convertidores que están comprendidos por el conjunto  $MN71$ .

En particular, vale:  $Cor71 = (\frac{1}{2} * (\Delta P72 + \Delta P74) - \Delta P71) * N71$ , en donde  $N71$  es un adecuado factor de normalización, el cual en el ejemplo de ejecución representado es igual al número de los convertidores comprendidos por el conjunto  $MN71$ .

El convertidor 72 calcula la variable de corrección  $Cor72$  a partir de las informaciones disponibles para el segundo convertidor 72 sobre los errores de control locales de los convertidores que están comprendidos por el conjunto  $MN72$ .

En particular, vale:  $Cor72 = (\frac{1}{2} * (\Delta P71 + \Delta P73) - \Delta P72) * N72$ , en donde  $N72$  es un adecuado factor de normalización, el cual en el ejemplo de ejecución representado es igual al número de los convertidores comprendidos por el conjunto  $MN72$ .

En correspondencia con lo anterior también se pueden determinar las variables de corrección para el tercer convertidor 73 y el cuarto convertidor 74.

5 Las variables de corrección determinadas se siguen procesando a continuación, como está representado en la figura 3, para realizar una corrección de las estáticas asignadas a los convertidores. En el caso de variables de corrección positivas, la estática se desplaza de modo que la potencia aumenta; en el caso de variables de corrección negativas, la estática se desplaza de modo que la potencia se reduce.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la regulación de un primer convertidor en una red de tensión continua que conecta una pluralidad de convertidores, en el cual:

5 - una estática para una variable de control (P1) del primer convertidor está asignada al menos al primer convertidor;

- a cada uno de los convertidores está asignado un error de control ( $\Delta P_1, \Delta P_2 \dots \Delta P_N$ ) local; en donde el error de control ( $\Delta P_1, \Delta P_2 \dots \Delta P_N$ ) local se corresponde en cada caso con una diferencia entre un valor de variable real medido en el convertidor y un valor de variable teórico asignado al convertidor;

caracterizado porque,

10 - la estática del primer convertidor se corrige en función de una variable de corrección (Cor); en donde

- la variable de corrección (Cor) se conforma como una diferencia entre una variable de comparación ( $\Delta P_{media}$ ) y el error de control ( $\Delta P_1$ ) local del primer convertidor; en donde

- la variable de comparación ( $\Delta P_{media}$ ) se deriva de un error de control ( $\Delta P_2$ ) local de al menos otro convertidor; y en donde

15 la estática se corrige de modo tal que la magnitud absoluta de la variable de corrección (Cor) se reduce.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en donde la estática es una estática de potencia-tensión y la variable de control (P1) corresponde a una potencia eléctrica transmitida en el primer convertidor.

3. Procedimiento según la reivindicación 2, en donde la estática está dada por una curva característica de control lineal y la corrección corresponde a un desplazamiento paralelo de la curva característica de control.

20 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, en donde los errores de control locales son errores de potencia locales.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, en donde los errores de control locales son errores de tensión locales.

25 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, en donde los errores de control locales son combinaciones lineales de errores de potencia locales y errores de tensión locales.

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en donde la variable de comparación ( $\Delta P_{media}$ ) corresponde a una media del error de control ( $\Delta P_1, \Delta P_2 \dots \Delta P_N$ ) local.

8. Procedimiento según la reivindicación 7, en donde el error de control local del otro convertidor se transmite al primer convertidor y mediante un formador de valor medio se calcula la media del primer convertidor.

30 9. Procedimiento según la reivindicación 7, en donde los errores de control locales se transmiten a una estación maestra central y la media se calcula en la estación maestra central.

10. Procedimiento según la reivindicación 7, en donde la media se calcula por iteración, en donde

35 - se calcula una variable de corrección parcial, en donde la variable de corrección parcial del primer convertidor es igual a la suma del error de control local ( $\Delta P_1$ ) del primer convertidor y una variable de suma del primer convertidor; en donde la variable de suma del primer convertidor es dependiente de una variable de transmisión (U21) del otro convertidor, calculada previamente, transmitida al primer convertidor;

40 - una variable de transmisión (U12) que debe ser transmitida por el primer convertidor al otro convertidor, se calcula como la diferencia entre la variable de corrección parcial del primer convertidor y la variable de transmisión (U21) transmitida por el otro convertidor al primer convertidor; y a continuación la misma se transmite al otro convertidor;

- una variable de corrección parcial del otro convertidor se calcula nuevamente como la suma del error de control local ( $\Delta P_2$ ) del otro convertidor y de una variable de suma del otro convertidor; en donde la variable

de suma del otro convertidor es dependiente de la variable de transmisión (U12) transmitida por el primer convertidor;

5 - la variable de transmisión (U21) del otro convertidor, que debe ser transmitida al primer convertidor, se calcula nuevamente como la diferencia entre la variable de corrección parcial del otro convertidor y la variable de transmisión (U12) transmitida por el primer convertidor al otro convertidor; y a continuación la misma se transmite al primer convertidor; y

- la media se deriva mediante la normalización de la variable de corrección parcial del primer convertidor, después de una determinada cantidad de pasos de iteración.

10 11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, en donde la variable de corrección (Cor), a partir de los errores de control local de al menos otros dos convertidores, se forma como la diferencia entre una media de los errores de control de al menos otros dos convertidores y el error de control del primer convertidor.

12. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en donde estáticas asignadas a una pluralidad de convertidores de una red de tensión continua se corrigen; en donde las correcciones se realizan en base a la condición de que una potencia total en la red de tensión continua se mantenga constante.

15 13. Dispositivo para la transmisión de potencia eléctrica que comprende una red de tensión continua, la cual conecta una pluralidad de convertidores, caracterizado por una unidad de regulación que está configurada para realizar un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 12.

FIG 1

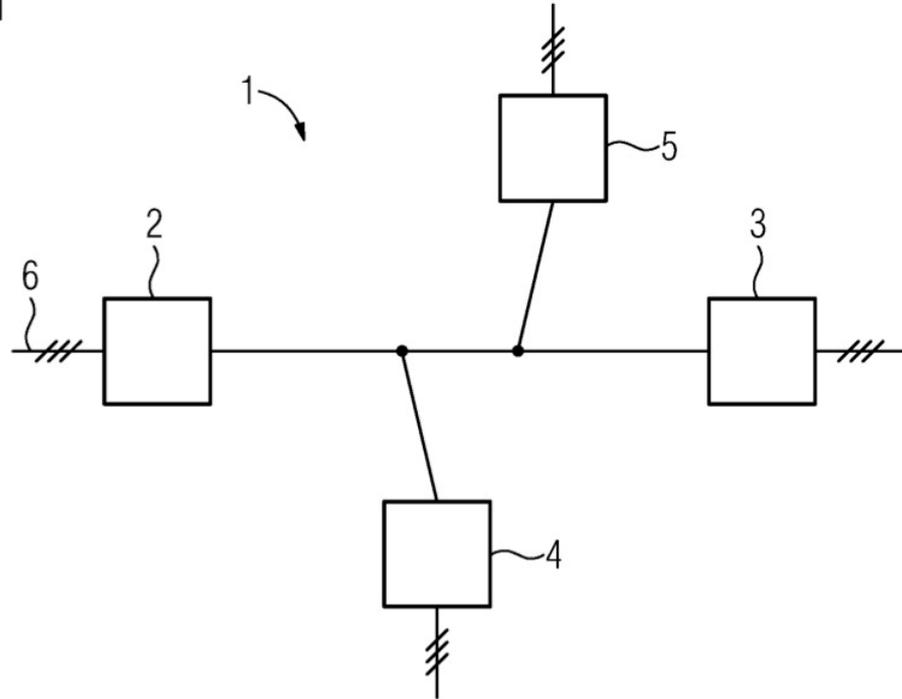


FIG 2

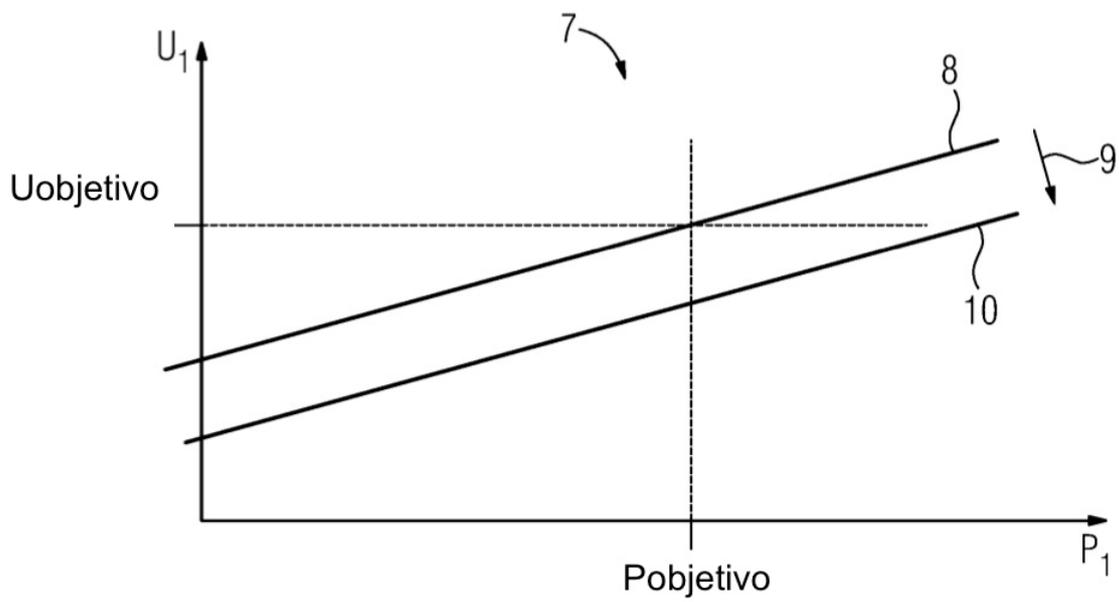


FIG 3

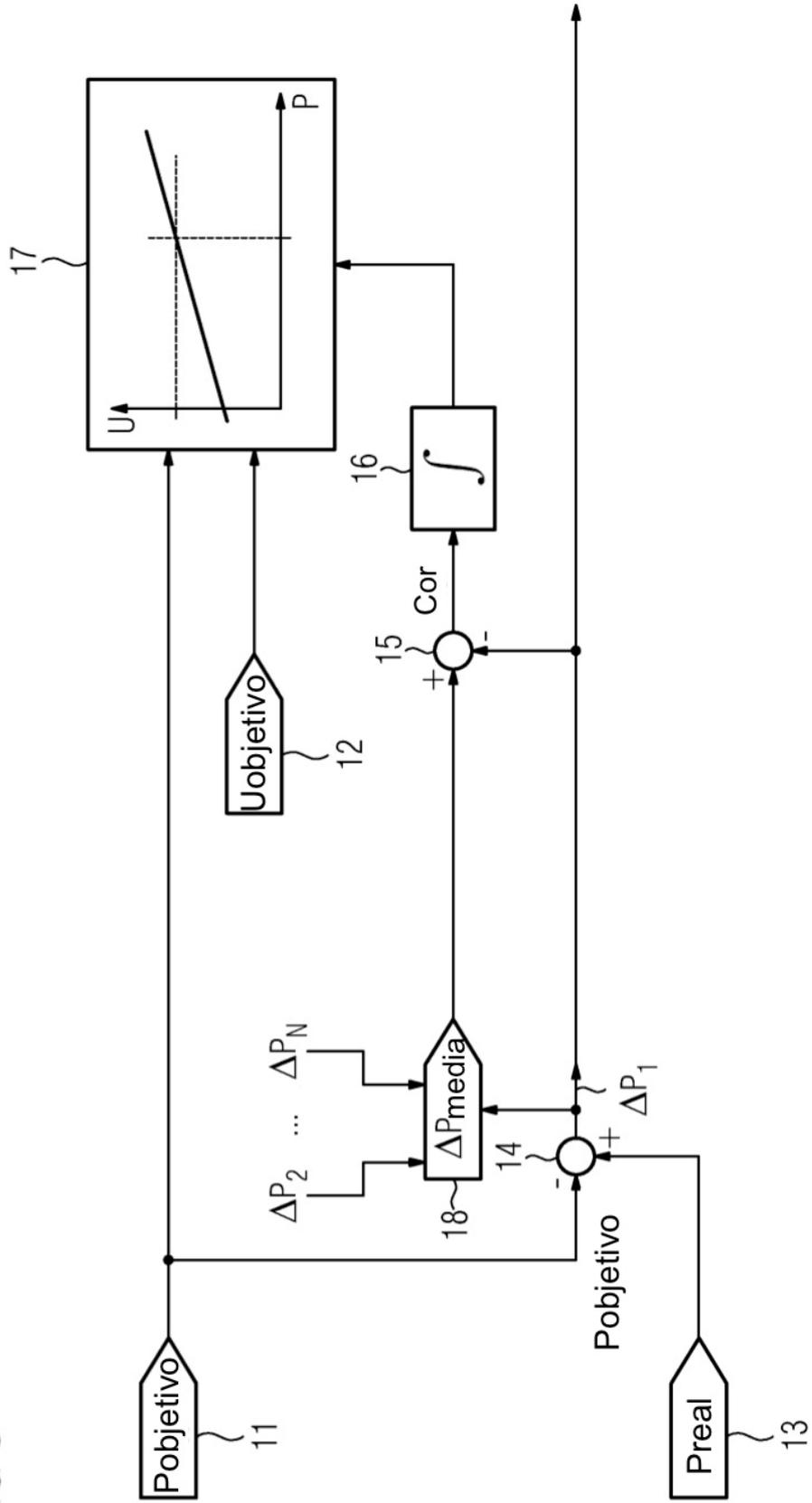


FIG 4

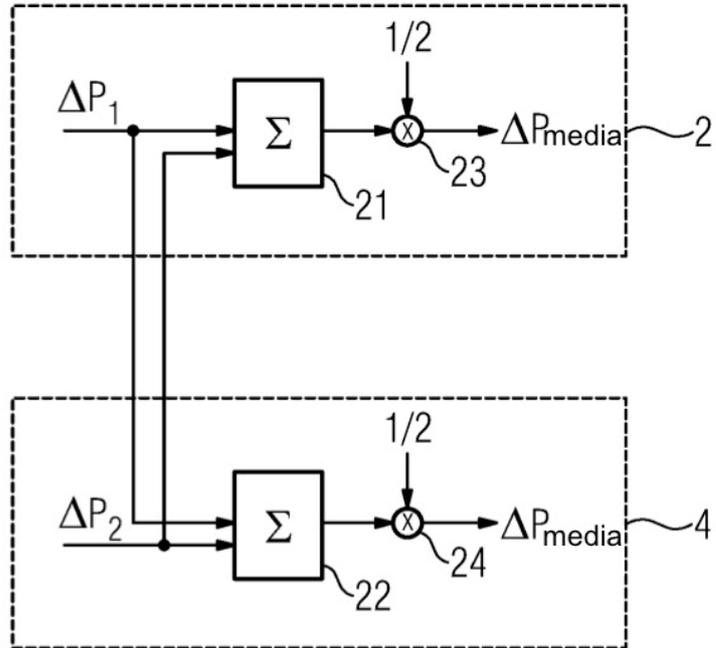


FIG 5

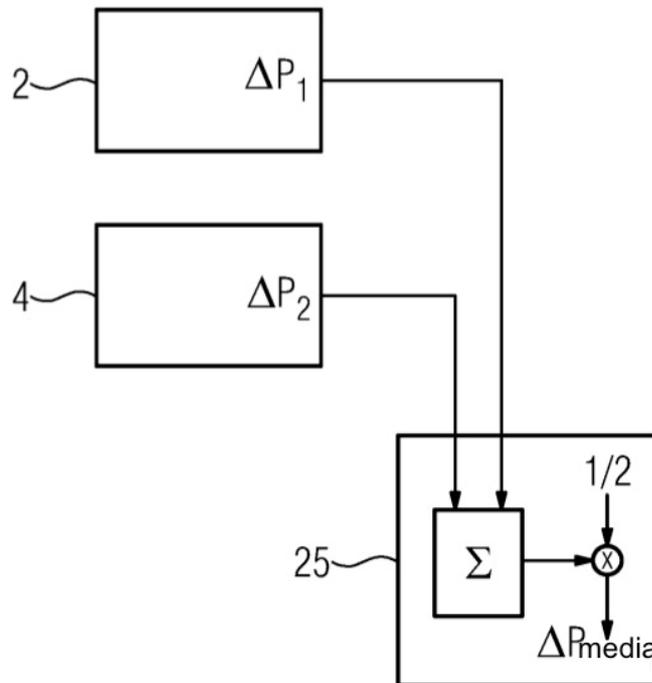


FIG 6

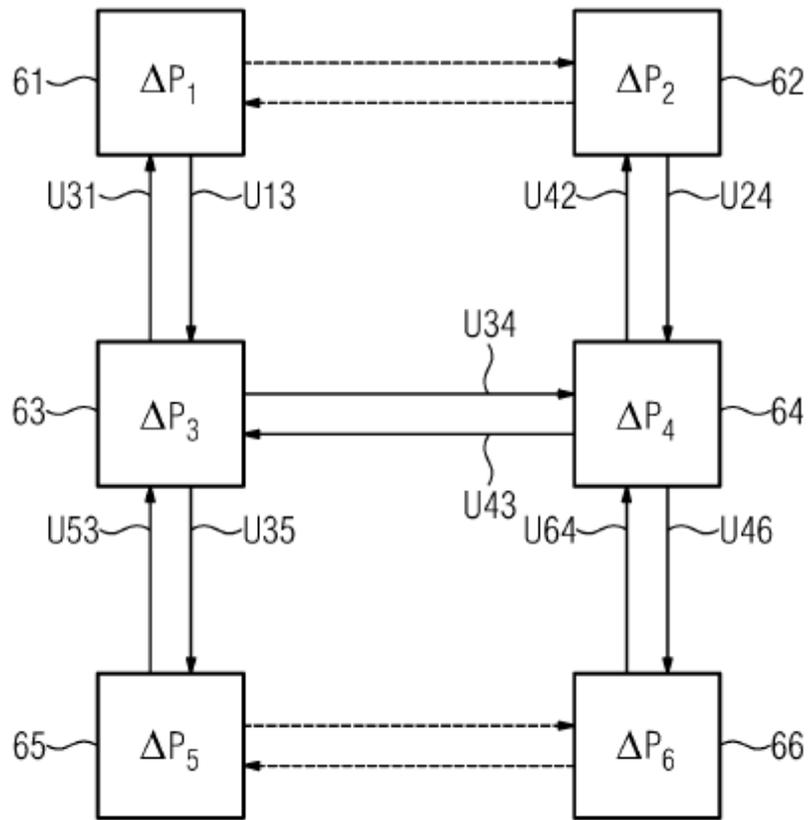


FIG 7

