

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 983 272**

51 Int. Cl.:

H02J 3/18

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.05.2021** **PCT/EP2021/063175**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.12.2021** **WO21249730**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.05.2021** **E 21725230 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.03.2024** **EP 4136727**

54 Título: **Compensación pasiva reactiva para una central eólica**

30 Prioridad:

09.06.2020 EP 20178875

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

22.10.2024

73 Titular/es:

SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY A/S
(100.0%)

Borupvej 16
7330 Brande, DK

72 Inventor/es:

GOLDENBAUM, NIKOLAUS

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 983 272 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

Compensación pasiva reactiva para una central eólica

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere al campo técnico de la conexión de una central eólica a un sistema de energía. Específicamente, la presente invención se refiere a un aparato de transmisión y a un método para proporcionar potencia reactiva al sistema de energía eléctrica y, al mismo tiempo, transmitir energía eléctrica entre generadores de turbinas eólicas y un sistema de energía mientras se optimiza el funcionamiento del sistema general.

Antecedentes de la técnica

La energía eléctrica que ha sido generada por una central eólica se transmite a un sistema de energía, por ejemplo, a una red eléctrica, mediante un aparato de transmisión que incluye uno o más transformadores. Se requiere que la central eólica y, por lo tanto, las turbinas eólicas proporcionen potencia reactiva para facilitar el control de tensión local y remoto en el sistema de energía. La potencia reactiva de las turbinas eólicas es controlada dinámicamente dentro de un cierto intervalo por los controladores de la turbina eólica y/o por el(los) controlador(es) de la central eólica.

El suministro de potencia reactiva al sistema de energía por medio de los convertidores de potencia de la turbina eólica generalmente requiere cierto margen de corriente (amperios), que por lo tanto no puede utilizarse para obtener una potencia activa. La exportación de potencia reactiva de la turbina eólica al sistema de energía requiere que la tensión de PWM (modulación por ancho de pulso) del convertidor en los terminales de PWM del convertidor sea superior a la tensión máxima de circuito abierto que cabe esperar en el lado de alta tensión del transformador del aparato de transmisión. La cantidad real de tensión adicional (más alta) requerida en los terminales de PWM está determinada por la impedancia efectiva de la parte del aparato de transmisión comprendida entre los terminales de alta tensión del transformador y los terminales de PWM y el intervalo de operación de potencia activa/reactiva. Dado que el convertidor de energía normalmente tiene una tensión de PWM máxima alcanzable, la alta tensión necesaria limita la tensión nominal (adaptadora) más alta que se puede seleccionar (aceptar) en el lado secundario del transformador. La tensión de PWM máxima alcanzable puede estar limitada por muchos factores, entre los que se incluyen las tecnologías disponibles, la selección de componentes, los estándares que requieren permanecer por debajo de una cierta tensión, etc. La tensión nominal del lado secundario del transformador normalmente se controla mediante la selección de la relación de giros dentro del transformador. Si se reduce la tensión nominal (adaptadora), la corriente requerida del convertidor aumenta y, en consecuencia, esto aumenta las pérdidas y requiere más margen de corriente (amperios) del convertidor de potencia. Un aparato del tipo anterior para transmitir energía eléctrica generada por al menos una turbina eólica a un sistema de energía se describe en el documento EP 2 397 688 A1, que describe un sistema de control eléctrico que comprende una unidad de control configurada para controlar la desconexión de al menos un condensador en un primer y/o segundo nodo. En el documento US 2013/155734 se describe un método para transmitir una potencia reactiva, que describe un método y un sistema para detectar una condición de funcionamiento en isla en una red.

En general, el margen de maniobra del convertidor de energía de la turbina eólica y, especialmente, la relación de giros del transformador de la turbina eólica no pueden adquirirse fácilmente en condiciones secundarias específicas a medida que se cambia el intervalo de potencia reactiva requerido.

Por lo tanto, todavía existe la necesidad de un suministro más eficiente de potencia reactiva entre la central eólica y el sistema de energía para facilitar los requisitos de control de tensión local y remoto en el sistema de energía.

Resumen de la invención

Esta necesidad puede ser satisfecha por el objeto según las reivindicaciones independientes.

Las realizaciones ventajosas de la presente invención se describen en las reivindicaciones dependientes.

Según un aspecto de la presente invención, se proporciona un método para transmitir una potencia reactiva entre al menos una turbina eólica y un sistema de energía a través de un transformador conectado entre la al menos una turbina eólica y el sistema de energía, incluyendo la turbina eólica un convertidor de potencia. El método incluye:

una primera etapa de aumento de una potencia reactiva de una importación reactiva máxima a una exportación reactiva máxima hasta que se alcance un primer umbral,

una segunda etapa de conexión de al menos un dispositivo pasivo al transformador y de reducción de una potencia reactiva del convertidor de potencia de una cantidad correspondiente a la contribución reactiva del dispositivo pasivo,

una tercera etapa de aumento de la potencia reactiva hacia la exportación reactiva máxima hasta que se alcance la exportación reactiva máxima.

Según otro aspecto de la presente invención, se proporciona un método para transmitir una potencia reactiva entre al menos una turbina eólica y un sistema de energía a través de un transformador conectado entre la al menos una turbina eólica y el sistema de energía, incluyendo la turbina eólica un convertidor de potencia. El método incluye:

una primera etapa de aumento de una potencia reactiva de una exportación reactiva máxima a una importación reactiva máxima hasta que se alcance un segundo umbral,

una segunda etapa de conexión de al menos un dispositivo pasivo al transformador y de aumento de una potencia reactiva del convertidor de potencia de una cantidad correspondiente a la contribución reactiva del dispositivo pasivo,

una tercera etapa de aumento de la potencia reactiva hacia la importación reactiva máxima hasta que se alcance la importación reactiva máxima.

Los umbrales primero y segundo pueden ser una fracción respectiva de la importación reactiva máxima o de la importación reactiva máxima. Los umbrales primero y segundo pueden comprender entre el 2 % y el 10 % de la importación reactiva máxima o de la importación reactiva máxima, respectivamente.

Los métodos descritos anteriormente proporcionan un control dinámico eficiente de la potencia reactiva.

Los métodos pueden implementarse en hardware y/o software y, en particular, pueden realizarse mediante un controlador de turbina eólica o un controlador de generador o un controlador de una central eólica.

Breve descripción de los dibujos

Los aspectos definidos anteriormente y otros aspectos de la presente invención se infieren de los ejemplos de realización que se describirán a continuación y se explican con referencia a los ejemplos de realización. La invención se describirá con más detalle a continuación en la memoria haciendo referencia a ejemplos de realización, no estando la invención limitada a los mismos.

La Fig. 1 ilustra esquemáticamente un aparato de transmisión para transmitir energía eléctrica entre una central eólica y un sistema de energía.

La Fig. 2 muestra un diagrama que ilustra la importación y exportación de potencia reactiva para una central eólica.

La Fig. 3 ilustra las etapas de un método para transmitir energía eléctrica entre una central eólica y un sistema de energía según las realizaciones de la invención.

La Fig. 4 muestra gráficamente los resultados del método de la figura 3.

La Fig. 5 ilustra etapas adicionales de un método para transmitir energía eléctrica entre una central eólica y un sistema de energía según las realizaciones de la invención.

La Fig. 6 muestra gráficamente los resultados del método de la figura 5.

Descripción detallada

La ilustración en los dibujos está en forma esquemática. Se señala que en diferentes figuras, los elementos similares o idénticos están provistos de los mismos signos de referencia.

La **Fig. 1** ilustra un aparato 100 de transmisión interpuesto entre una central eólica 10 y un sistema 200 de energía. El aparato 100 de transmisión se representa según un esquema de línea única, pero puede ser un sistema trifásico, donde la línea única de la figura 1 representa solo los tres conductores de un sistema trifásico típico. La central eólica 10 puede incluir una o más turbinas eólicas (una turbina eólica 10 se representa en el dibujo esquemático de la realización de la figura 1). La central eólica 10 puede ser una central eólica en el mar o una central eólica en el mar. El sistema 200 de energía puede consistir en una red eléctrica. El aparato 100 de transmisión está conectado a la central 10 y al sistema 200 de energía para transmitir la energía eléctrica generada por la central eólica 10 al sistema 200 de energía. Cada turbina eólica de la central eólica 10 incluye un generador eléctrico 15 (en el dibujo esquemático de la realización de la figura 1 se representa un generador eléctrico 15). Cada turbina eólica de la central eléctrica 10 incluye además un convertidor 20 de potencia de turbina eólica (un convertidor 20 de potencia de turbina eólica se representa en el dibujo esquemático de la realización de la figura 1). El convertidor 20 de potencia de turbina eólica está conectado al generador eléctrico 15. El convertidor 20 de potencia de turbina eólica emite una tensión 21 de PWM (modulación por ancho de pulso), que puede proporcionarse como entrada al aparato 100 de transmisión.

El aparato 100 de transmisión comprende un transformador 110 que se puede conectar entre la central eólica 10 y el sistema 200 de energía. Según otras realizaciones de la presente invención (no mostrado), el aparato 100 de

transmisión puede comprender más de un transformador 110. El transformador 110 está configurado para cambiar en funcionamiento un primer nivel de tensión de CA proporcionado por la central eólica 10 a un segundo nivel de tensión de CA que se proporcionará al sistema 200 de energía. El transformador 110 comprende un primer lado 111 para recibir el primer nivel de tensión de CA y un segundo lado 112 para transmitir el segundo nivel de tensión de CA. Según las realizaciones de la presente invención, el primer nivel de tensión de CA puede ser de aproximadamente 690 V y el segundo nivel de tensión de CA puede ser de aproximadamente 66 kV. La presente invención puede aplicarse a cualquier aparato 100 de transmisión y a cualquier transformador 110, independientemente de los valores del primer nivel de tensión de CA y del segundo nivel de tensión de CA. El aparato 100 de transmisión incluye un reactor principal 140 que se puede conectar en serie entre la salida del convertidor 20 de potencia y el primer lado 111 del transformador 110. El reactor principal 140 puede usarse para cooperar en el control de la potencia reactiva transmitida a lo largo del aparato 100 de transmisión. El aparato 100 de transmisión incluye además una impedancia 150, que tiene un terminal conectado entre el reactor principal 140 y el primer lado 111 del transformador 110. El reactor principal 140 y la impedancia 150 forman en conjunto un filtro de PWM para la salida 21 de tensión de PWM. Según otras realizaciones de la presente invención (no mostrado), dicho filtro puede configurarse de otras maneras, p. ej., como un filtro LCL.

El aparato 100 de transmisión incluye además al menos un dispositivo pasivo 120, 130 que tiene un terminal conectado con el primer lado 111 o con el segundo lado 112 del transformador 110 para controlar la transmisión de potencia reactiva entre la central eléctrica 10 y el sistema 200 de energía. En la realización de la figura 1, el aparato 100 de transmisión comprende un primer dispositivo pasivo 120 que tiene un terminal conectado con el primer lado 111 del transformador 110 y un segundo dispositivo pasivo 130 que tiene un terminal conectado con el segundo lado 112 del transformador 110. Según otra realización de la invención (no mostrado), solamente está presente un dispositivo pasivo 120, que tiene un terminal conectado con el primer lado 111 del transformador 110. Según otra realización de la invención (no mostrado), solamente está presente un dispositivo pasivo 130, que tiene un terminal conectado con el segundo lado 112 del transformador 110. En la realización de la figura 1, los dispositivos pasivos 120, 130 incluyen un primer condensador 121 y un segundo condensador 131, respectivamente. Los condensadores 121, 131 tienen un tamaño apropiado según las características de la central eólica 10, el sistema 200 de energía y el transformador 110. Por ejemplo, según posibles realizaciones de las invenciones, el primer condensador 121 puede tener una capacitancia comprendida entre 10 mF y 20 mF, mientras que el segundo condensador 131 puede tener una capacitancia comprendida entre 1 μ F y 2 μ F. Según otra realización de la invención (no mostrado), cada dispositivo pasivo 120, 130 puede incluir una pluralidad de condensadores respectivos, por ejemplo, un banco de condensadores en paralelo. El dispositivo pasivo 120, 130 puede incluir como alternativa o adicionalmente otros componentes pasivos, p. ej., un filtro de PWM o un inductor para limitar la corriente de entrada u otros dispositivos limitadores de corriente. Opcionalmente, un conmutador 122, 132 respectivo puede interponerse entre un dispositivo pasivo 120, 130 respectivo y el transformador 110. Por ejemplo, según la realización de la figura 1, un primer interruptor 122 puede interponerse entre el primer condensador 121 y el primer lado 111 y/o un segundo interruptor 132 puede interponerse entre el segundo condensador 132 y el segundo lado 112 del transformador 110. El dispositivo pasivo 120, 130 puede incluir además contactores de fase individuales sobrevalorados (no mostrado en la figura 1), que permiten conectar los condensadores a igual tensión y desconectar los condensadores a corriente cero.

Si no se interpone ningún conmutador entre los dispositivos pasivos 120, 130 y el transformador 110, los dispositivos pasivos 120, 130 se conectan permanentemente al transformador 110 para proporcionar una compensación de potencia reactiva fija. Si se usan los conmutadores 122, 132, los condensadores pueden controlarse dinámicamente, por ejemplo, para pasar de una potencia reactiva de importación máxima a una potencia reactiva de exportación máxima o viceversa. La decisión de tener los dispositivos pasivos conectados permanentemente o mediante un dispositivo de conmutación puede basarse en las condiciones mostradas en la **Fig. 2**, donde los tres intervalos 181, 182, 183 de potencia reactiva requerida se comparan con el intervalo base 180 de capacidad de potencia reactiva de la central eólica 10, que se extiende entre una exportación 184 reactiva máxima y una importación 185 reactiva máxima (negativa). Un primer intervalo 181 se extiende entre una exportación de potencia reactiva requerida que es superior a la exportación 184 reactiva máxima y una importación de potencia reactiva requerida que es igual o inferior (en valor absoluto) a la importación 185 reactiva máxima. En tal caso, los dispositivos pasivos 120, 130 pueden estar conectados permanentemente, es decir, los conmutadores 122, 132 no son necesarios. Un segundo intervalo 182 se extiende entre una exportación de potencia reactiva requerida que es superior a la exportación 184 reactiva máxima y una importación de potencia reactiva requerida que es igual o superior (en valor absoluto) a la importación 185 reactiva máxima. En tal caso, se requiere que los conmutadores 122, 132 conecten y desconecten dinámicamente los dispositivos pasivos 120, 130 al transformador 110. Un tercer intervalo 183 se extiende de la exportación 184 reactiva máxima a la importación 185 reactiva máxima. Otro intervalo (no mostrado) puede extenderse dentro del intervalo de la exportación 184 reactiva máxima a la importación 185 reactiva máxima. En los dos últimos casos, se pueden evitar los dispositivos pasivos 120, 130.

Con referencia a la **Fig. 3** y a la **Fig. 4** se describe un método 300 para transmitir energía eléctrica entre la central eólica 10 y el sistema 200 de energía haciendo funcionar el aparato 100 de transmisión. Según el método 300, la potencia reactiva se mueve de la importación 185 máxima del reactor a la exportación 184 reactiva máxima. En una primera etapa 301 del método 300, una referencia de potencia reactiva 191 pasa de la importación a la exportación con una velocidad de rampa deseada. La potencia reactiva 192 real sigue la referencia 191 hasta un umbral T1. El umbral T1 está en el intervalo positivo de la potencia reactiva de exportación y puede definirse como un porcentaje de

la exportación 184 reactiva máxima. Por ejemplo, el umbral T1 puede ser el 5 % de la exportación 184 reactiva máxima. El umbral T1 puede definirse alternativamente como un valor absoluto en unidades VA (voltios-amperios). El umbral T1 debe seleccionarse lo suficientemente alto como para minimizar el número de conmutaciones (esto se puede lograr varias veces si el umbral es demasiado bajo debido a fenómenos de histéresis). En una segunda etapa 302 del método 300, cuando la potencia 192 de corriente reactiva alcanza el umbral T1, el dispositivo pasivo 120, 130 se conecta (referencia 193) a través del conmutador 122, 132 respectivo y, al mismo tiempo, la potencia reactiva 194 del convertidor 20 de potencia se reduce en una cantidad que corresponde a la contribución reactiva del dispositivo pasivo 120, 130. Dicha cantidad de potencia reactiva puede ser una compensación fija o puede calcularse dinámicamente para que coincida con las condiciones de operación predominantes. En una tercera etapa 303 del método 300, la referencia 191 de potencia reactiva se aumenta de nuevo de la importación a la exportación con una velocidad de rampa deseada, que puede ser la misma que en la primera etapa 301. Tras un transitorio, la potencia 192 reactiva real sigue a la referencia 191 hasta la exportación 184 reactiva máxima. Las etapas segunda y tercera 302, 303 pueden repetirse si cada dispositivo pasivo 120, 130 incluye una pluralidad de condensadores y conmutadores respectivos.

Con referencia a la **Fig. 5** y a la **Fig. 6** se describe un método 400 para transmitir energía eléctrica entre la central eólica 10 y el sistema 200 de energía haciendo funcionar el aparato 100 de transmisión. Según el método 400, la potencia reactiva se mueve de la exportación 184 máxima del reactor a la importación 185 reactiva máxima. En una primera etapa 401 del método 300, una referencia 191 de potencia reactiva se reduce de la exportación a la importación con una velocidad de rampa deseada. La potencia 192 reactiva real sigue a la referencia 191 hasta un umbral T2. El umbral T2 está en el intervalo negativo de la potencia reactiva de importación y puede definirse como un porcentaje de la importación 185 reactiva máxima. Por ejemplo, el umbral T2 puede ser el 5 % de la importación 185 reactiva máxima. El umbral T2 puede definirse alternativamente como un valor absoluto en unidades VA (voltios-amperios). El umbral T2 debe seleccionarse lo suficientemente alto (en valor absoluto) para minimizar el número de conmutaciones (esto se puede lograr varias veces si el umbral es demasiado bajo debido a fenómenos de histéresis). En una segunda etapa 402 del método 300, cuando la potencia 192 de corriente reactiva alcanza el umbral T2, el dispositivo pasivo 120, 130 se conecta (referencia 193) a través del conmutador 122, 132 respectivo y, al mismo tiempo, la potencia reactiva 194 del convertidor 20 de potencia se incrementa en una cantidad que corresponde a la contribución reactiva del dispositivo pasivo 120, 130. Dicha cantidad de potencia reactiva puede ser una compensación fija o puede calcularse dinámicamente para que coincida con las condiciones de operación predominantes. En una tercera etapa 403 del método 300, la referencia 191 de potencia reactiva se aumenta de nuevo de la exportación a la importación con una velocidad de rampa deseada, que puede ser la misma que en la primera etapa 401. Tras un transitorio, la potencia 192 reactiva real sigue a la referencia 191 hasta la importación 185 reactiva máxima. Las etapas segunda y tercera 402, 403 pueden repetirse si cada dispositivo pasivo 120, 130 incluye una pluralidad de condensadores y conmutadores respectivos.

Cabe señalar que el término “que comprende” no excluye otros elementos o etapas y los artículos “un” o “una” no excluyen una pluralidad. También pueden combinarse elementos descritos asociados a distintas realizaciones. También hay que señalar que los signos de referencia de las reivindicaciones no deben interpretarse como una limitación del alcance de las mismas.

REIVINDICACIONES

1. Un método (300) para transmitir una potencia reactiva entre al menos una turbina eólica (10) y un sistema (200) de energía a través de un transformador (110) conectado entre la al menos una turbina eólica (10) y el sistema (200) de energía, incluyendo la turbina eólica (10) un convertidor (20) de potencia, incluyendo el método
5 una primera etapa (301) de aumento de una potencia reactiva (192) de una importación (185) reactiva máxima a una exportación (184) reactiva máxima hasta que se alcance un primer umbral (T1),
10 una segunda etapa (302) de conexión de al menos un dispositivo pasivo (120, 130) al transformador (110) y de reducción de una potencia reactiva (194) del convertidor (20) de potencia de una cantidad correspondiente a la contribución reactiva del dispositivo pasivo (120, 130),
15 una tercera etapa (303) de aumento de la potencia reactiva (192) hacia la exportación (184) reactiva máxima hasta que se alcance la exportación (184) reactiva máxima.
2. El método de la reivindicación 1, en donde el primer umbral (T1) es una fracción de la exportación (184) reactiva máxima comprendida entre el 2 % y el 10 %.
3. Un método (400) para transmitir una potencia reactiva entre al menos una turbina eólica (10) y un sistema (200) de energía a través de un transformador (110) conectado entre la al menos una turbina eólica (10) y el sistema (200) de energía, incluyendo la turbina eólica (10) un convertidor (20) de potencia, incluyendo el método
20 una primera etapa (401) de aumento de una potencia reactiva (192) de una exportación (184) reactiva máxima a una importación (185) reactiva máxima hasta que se alcance un segundo umbral (T2),
25 una segunda etapa (402) de conexión de al menos un dispositivo pasivo (120, 130) al transformador (110) y de aumento de una potencia reactiva (194) del convertidor (20) de potencia de una cantidad correspondiente a la contribución reactiva del dispositivo pasivo (120, 130),
30 una tercera etapa (403) de aumento de la potencia reactiva (192) hacia la importación (185) reactiva máxima hasta que se alcance la importación (185) reactiva máxima.
4. El método de la reivindicación 3, en donde el segundo umbral (T2) es una fracción de la importación (185) reactiva máxima comprendida entre el 2 % y el 10 %.

Figura 1

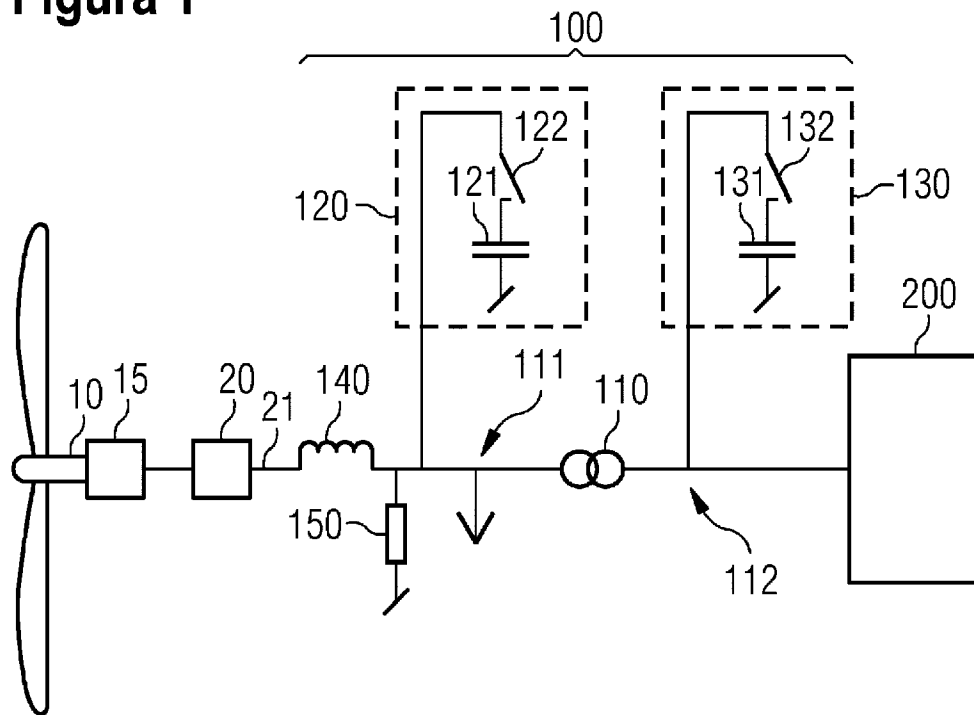


Figura 2

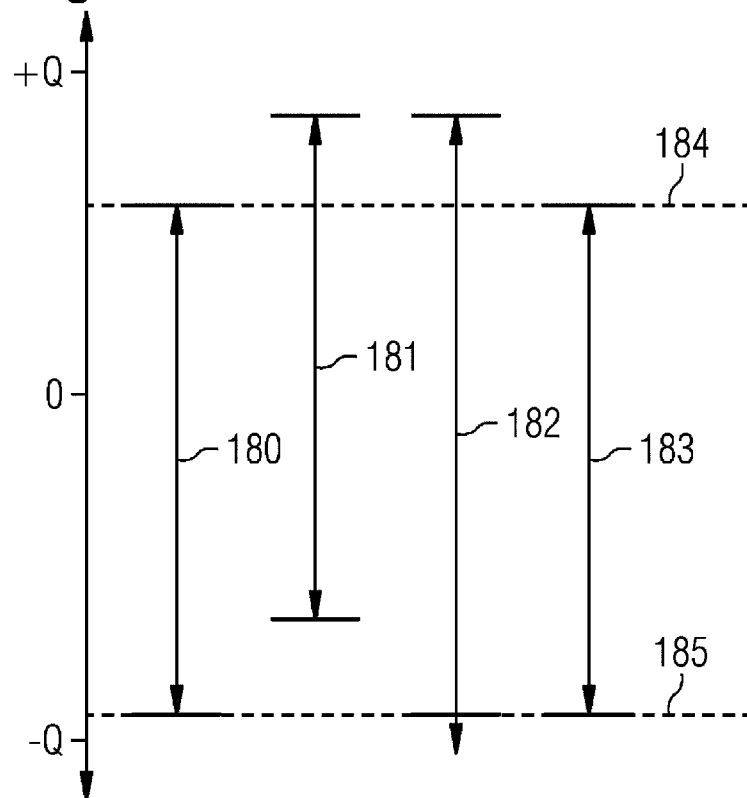


Figura 3

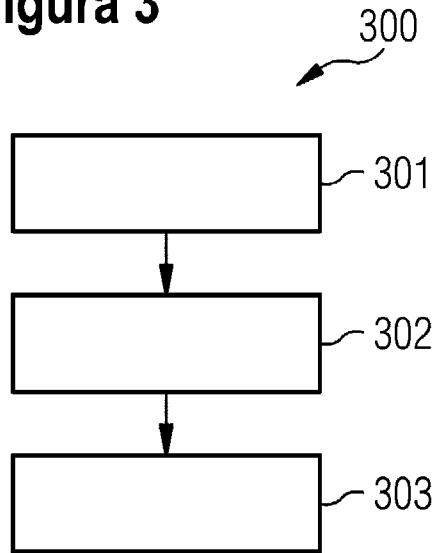


Figura 4

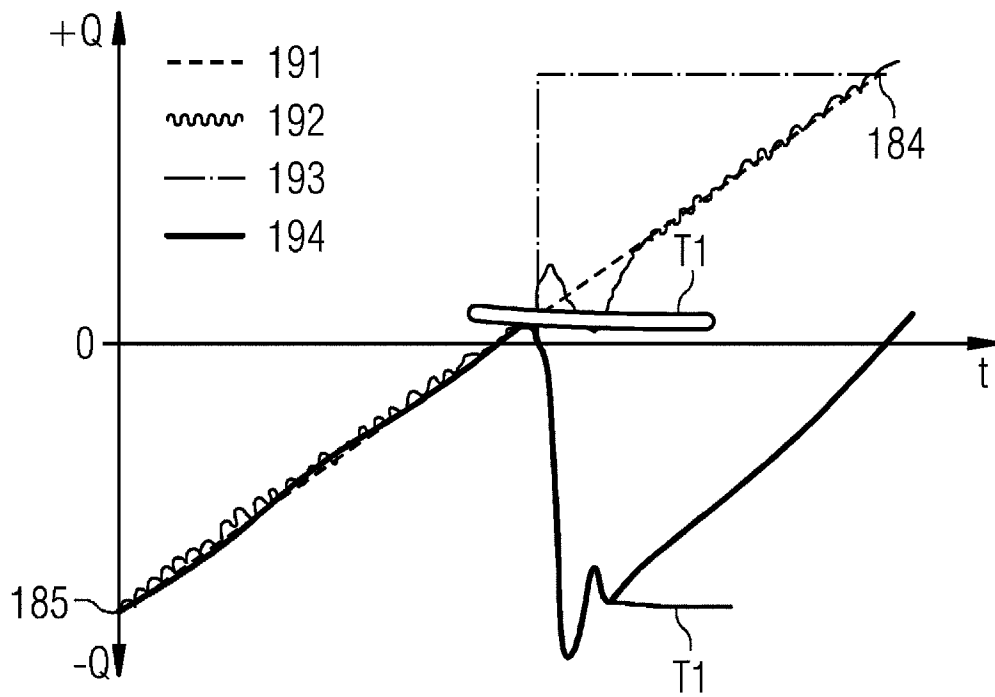


Figura 5

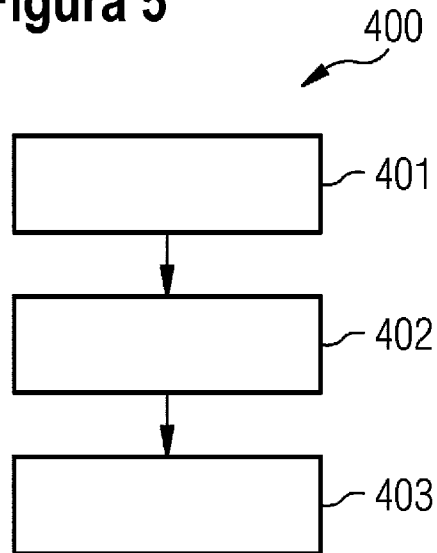


Figura 6

