

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 376 192**

51 Int. Cl.:
H02J 3/18

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **02079958 .1**

96 Fecha de presentación: **27.11.2002**

97 Número de publicación de la solicitud: **1318588**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **11.06.2003**

54 Título: **UN MÉTODO Y UN DISPOSITIVO PARA COMPENSACIÓN DEL CONSUMO DE POTENCIA REACTIVA EN UNA CARGA INDUSTRIAL.**

30 Prioridad:
28.11.2001 SE 0103985

73 Titular/es:
ABB AB
721 83 Västerås, SE

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
09.03.2012

72 Inventor/es:
Wernersson, Lennart

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
09.03.2012

74 Agente/Representante:
Ungría López, Javier

ES 2 376 192 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

Un método y un dispositivo para compensación del consumo de potencia reactiva en una carga industrial

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un método para la compensación del consumo de potencia reactiva de una carga industrial, preferiblemente un horno de arco eléctrico o una planta para laminado de material metálico, suministrado desde una red eléctrica de c.a. trifásica, en el que un primer dispositivo de compensación para el consumo controlado de potencia reactiva, que comprende un reactor controlado por tiristor para cada una de las fases de la red de c.a. y un segundo dispositivo de compensación para la generación de potencia reactiva se conectan ambos a la red eléctrica de potencia en una conexión en paralelo con la carga, y un dispositivo para llevar a cabo el método.

El dispositivo comprende medios para la determinación del consumo instantáneo de potencia reactiva por la carga y un dispositivo de control, que, en dependencia de la misma, forma una orden de control para los reactores controlados por tiristor y suministra la orden de control de los mismos.

Técnica antecedente

Las cargas industriales conectadas a las redes eléctricas de c.a., en particular los hornos de arco pero también, por ejemplo, las laminadoras, influyen la tensión de la red de c.a., sobre todo por un consumo ampliamente variable de potencia reactiva durante el funcionamiento. Especialmente cuando las variaciones del consumo de potencia caen dentro de un intervalo de frecuencia de típicamente 0-20 Hz, las variaciones de tensión correspondientes, denominadas parpadeos, son observables y perturban el ojo humano en el caso de la iluminación eléctrica suministrada por la red de c.a.

Es conocido, en conexión con las cargas industriales de la clase anteriormente mencionada, la conexión en paralelo con las mismas, esto es, en una conexión paralela a la red de c.a., de condensadores estáticos para la compensación del consumo de potencia reactiva de la carga. Un tipo de tales compensadores comprenden normalmente un dispositivo para la generación de potencia reactiva así como un dispositivo para el consumo controlable de potencia reactiva, conocido dentro de la técnica como un reactor controlado por tiristor (TCR, del inglés "thyristor-controlled reactor"). El dispositivo para la generación de potencia reactiva comprende normalmente uno o más filtros conectados mutuamente en paralelo, comprendiendo cada uno esencialmente un elemento inductivo en conexión en serie con elementos capacitivos. Los filtros se ajustan a múltiplos elegidos de la frecuencia nominal de la red de c.a., por ejemplo con los 3^{er}, 4^o y 5^o armónicos, a veces incluso al 2^o y 7^o armónico. El dispositivo para el consumo controlable de potencia reactiva comprende un elemento inductivo, un reactor, en conexión en serie con una válvula de semiconductores controlable. La válvula de semiconductores controlable comprende dos semiconductores controlables, normalmente tiristores, en conexión antiparalelo. Mediante el control del ángulo de fase de los semiconductores, esto es, mediante el control de su ángulo de encendido con relación a la posición de la fase de la tensión de la red de c.a., se puede controlar la susceptancia del dispositivo y de ahí su consumo de potencia reactiva.

Para una descripción general de los reactores controlados por tiristor, se hace referencia a Åke Ekström: High Power Electronics HVDC and SVC, Estocolmo, junio de 1990, en particular a las páginas 1-32 1-33 y 10-8 a 10-12.

El compensador genera una potencia reactiva igual a la generada por el dispositivo para la generación de potencia reactiva, reducida por el consumo en el reactor controlado por tiristor. Mediante la determinación del consumo instantáneo de potencia reactiva por la carga y a continuación el control del consumo de potencia del reactor controlado por tiristor hasta un valor que, junto con el consumo de la carga, se corresponde a la potencia reactiva generada por el dispositivo para la generación de potencia reactiva, el intercambio de potencia reactiva con la red de c.a. se convierte en cero.

La especificación de patente europea EP 0 260 504 describe un circuito para la compensación de potencia reactiva que comprende un compensador y una carga de la clase anteriormente mencionada. En adición a la misma, este circuito comprende un convertidor autoconmutado, controlado en modulación de ancho de impulsos dependiendo de las señales de control generadas en un elemento de control y conectado a la red de c.a. en una conexión en paralelo con la carga y el reactor controlado por tiristor. El convertidor suministra a la red de c.a. una intensidad reactiva para la compensación de la potencia activa y reactiva consumida/generada por la carga y el reactor controlado por tiristor. En un sistema bifásico ortogonal, dependiendo de las intensidades trifásicas y de las tensiones trifásicas detectadas, el elemento de control calcula los valores instantáneos de la potencia activa y reactiva consumida/generada por la carga y el reactor controlado por tiristor conjuntamente.

En la especificación de patente anteriormente mencionada, se establece que las variaciones de tensión en las redes de c.a. están determinadas sustancialmente por las variaciones en el consumo de potencia reactiva de la carga y que la dependencia de la tensión de su consumo de potencia activa puede ser despreciable. Las señales de control al convertidor se forman por lo tanto solamente en dependencia de las variaciones en el consumo de potencia

reactiva por la carga.

5 El método usado en la especificación de patente EP 0 260 504 para la determinación de la potencia activa y reactiva instantáneas de la carga en un sistema bifásico ortogonal es aplicable también para el control de un reactor controlado por tiristor. Sin embargo, se ha demostrado que es difícil y, en ciertos casos, imposible, con el método para la formación de una señal de control como el establecido en la especificación de patente mencionada anteriormente, cumplir las demandas cada vez más exigentes sobre las perturbaciones impuestas por los operadores de las redes de c.a.

10 La especificación de patente europea EP 0 847 612 describe un dispositivo para la compensación de potencia reactiva en una carga industrial de la clase mencionada anteriormente. El dispositivo comprende un primer dispositivo de compensación en la forma de un reactor controlado por tiristor para el consumo controlable de la potencia reactiva y un segundo dispositivo de compensación para la generación de potencia reactiva por medio de elementos capacitivos. Un elemento de control calcula en un sistema bifásico ortogonal, a través de las intensidades trifásicas y de las tensiones trifásicas detectadas, los valores instantáneos del consumo de potencia reactiva y activa por parte de la carga. El elemento de control comprende un elemento de procesamiento de señales con una característica de avance de fase dentro del intervalo de frecuencias de interés para los parpadeos, cuya señal de procesamiento de señales se suministra con una señal correspondiente al consumo de potencia activa mencionado. Se forma una orden de control para el primer dispositivo de compensación en dependencia del consumo de la potencia reactiva por parte de la carga así como de una señal de salida desde el elemento de procesamiento de señales.

25 Es deseable, entre otras cosas debido a los gastos, tener la capacidad de utilizar reactores controlados por tiristor para la compensación de la potencia reactiva en las aplicaciones mencionadas en la parte introductoria de la descripción, pero se ha establecido que hay una necesidad de mejoras adicionales en su capacidad para compensar rápidamente las variaciones en el consumo de potencia de la carga.

Sumario de la invención

30 El objeto de la invención es proporcionar un método de la clase establecida en la parte introductoria de la descripción, mediante el que se mejore la reducción de los denominados parpadeos y un dispositivo para llevar a cabo el método. Este objetivo se resuelve mediante las características del método de la reivindicación 1 y del dispositivo de la reivindicación 5.

35 De acuerdo con la invención, esto se consigue mediante la detección, para cada una de las fases de la red de c.a., de un valor de amplitud instantánea de una tensión que representa la tensión a través de un reactor controlado por tiristor para la fase respectiva, mediante la formación de un valor medio de la tensión a partir de dichos valores de amplitud, mediante la formación, para cada una de las fases de la red de c.a., de una desviación de la amplitud como una diferencia entre dicho valor medio de tensión y dichos valores de amplitud instantánea respectivos y mediante la formación de una orden de control separada para cada uno de los reactores controlados por tiristor dependiendo de la desviación de la amplitud para el reactor controlado por tiristor respectivo.

45 Las ventajas y desarrollos adicionales de la invención serán más claros a partir de la descripción y reivindicaciones a continuación.

50 Por medio de la invención, se obtienen las siguientes ventajas, entre otras cosas, en relación a la técnica anterior. Para obtener una medida del consumo de potencia reactiva de acuerdo con la técnica anterior, se requiere que se suministren al equipo de control los valores medidos detectados de intensidades y tensiones obtenidas en dos ocasiones de medición separadas. Mediante la formación de la orden de control en dependencia también de la desviación de la amplitud en la tensión mencionada anteriormente, de acuerdo con la invención, se puede obtener una influencia sobre la susceptancia del reactor controlado por tiristor sin esperar al efecto de los cambios de tensión en el consumo de potencia reactiva determinados en la forma previamente conocida. Además de esto, es característico de las cargas industriales de la clase mencionada y, en particular en el caso de hornos de arco eléctrico, que las variaciones en el consumo de potencia muestran un desequilibrio de fases considerable. Por lo tanto mediante la formación de una orden de control separada para cada uno de los reactores controlados por tiristor que pertenecen a la fase respectiva, también de acuerdo con la invención, se puede reducir adicionalmente el efecto sobre la red de c.a.

Breve descripción de los dibujos

60 Se describirá la invención con mayor detalle mediante la descripción de las realizaciones con referencia a los dibujos adjuntos, en los que

65 La Figura 1A muestra esquemáticamente, como un diagrama unifilar, una red de c.a. con una carga industrial y, en la forma de un diagrama de bloques, una parte del equipo de control de acuerdo con una realización de la invención para la compensación del consumo de potencia reactiva de la carga,

la Figura 1B muestra esquemáticamente, como un diagrama unifilar, una red de c.a. con una carga industrial y, en la forma de un diagrama de bloques, una parte del equipo de control de acuerdo con una realización adicional de la invención para la compensación del consumo de potencia reactiva de la carga,

la Figura 2 muestra una realización de una parte del equipo de control de acuerdo con las Figuras 1A y 1B y

la Figura 3 muestra una realización conocida de un elemento de cálculo en una parte de un equipo de control de acuerdo con las Figuras 1A y 1B.

Descripción de las realizaciones preferidas

La siguiente descripción se refiere tanto al método como al dispositivo. El dispositivo comprende elementos de cálculo, mostrados en las figuras como diagramas de bloques. Los diagramas de bloques se pueden entender tanto como un diagrama de flujo de señales como un diagrama de bloques que describe una parte de un equipo de control para el dispositivo. Una función realizada por un bloque mostrado en el diagrama de bloques puede, en las partes aplicables, ser implementado por medio de técnicas analógicas y/o digitales, pero se realiza ventajosamente como un programa en un microprocesador. Se ha de entender que cuando se hace referencia a los bloques mostrados en las figuras en una realización física como un diafragma, un filtro, un aparato, etc., se han de entender como medios para conseguir una función deseada, especialmente cuando la función se implementa como software en un microprocesador. En consecuencia, como puede ser en este caso, el término "señal" se puede interpretar también como un valor generado por un programa de ordenador y puede aparecer también solamente en esta forma. Se da solamente una descripción funcional de los bloques mencionados a continuación dado que sus funciones, en una forma conocida per se, se puede implementar por un experto en la técnica.

Para no sobrecargar la presentación con distinciones autoexplicativas para un experto en la técnica, se usan generalmente las mismas designaciones para las cantidades que aparecen en el dispositivo de compensación y en la carga así como para los valores medidos y las señales/valores calculados, que corresponden a las cantidades mencionadas anteriormente, que se suministran a, y se procesan en, el dispositivo de control descrito a continuación. En la descripción a continuación, una magnitud descrita o un elemento descrito es representativo de cada una de las fases respectivas, la magnitud o el elemento se indican por un sufijo xy, en donde xy significa ab, bc y ca, respectivamente.

La Figura 1A muestra, como un diagrama unifilar, una red 1 de c.a. eléctrica trifásica con un embarrado 11. Una carga industrial 2 en la forma de un horno de arco eléctrico se conecta al embarrado 11 a través de un transformador 12. En paralelo con el arco eléctrico, en el embarrado 14, se conectan un primer dispositivo de compensación 3 para el consumo controlable de potencia reactiva y un segundo dispositivo de compensación 4 para la generación de potencia reactiva. Adicionalmente, se conecta también una carga general 13 al embarrado 11, carga que puede comprender, por ejemplo, redes de iluminación en viviendas u oficinas.

El primer dispositivo de compensación comprende, para cada una de las tres fases de la red de c.a., un reactor controlado por tiristor, mostrado en la figura como un reactor 31 y una conexión de semiconductor controlable 32 conectada en serie con el mismo, que comprende dos tiristores en conexión antiparalelo. La susceptancia del dispositivo de compensación y por ello su consumo de potencia reactiva, son controlables en una forma conocida per se mediante el control del ángulo de fase de los tiristores, esto es, mediante el control de su ángulo de encendido con relación a la posición de la fase de la tensión de la red de c.a.

El segundo dispositivo de compensación comprende un número de filtros conectados mutuamente en paralelo, estando cada uno sintonizado, en una forma conocida per se, o en resonancia con un cierto múltiplo, armónico, de la frecuencia nominal de la red de c.a. por ejemplo su 3^{er}, 4^o o 5^o armónico. Por razones de claridad, la figura muestra solamente dos filtros 41 y 42, pero se ha de entender que el segundo dispositivo de compensación puede comprender uno o más filtros de este tipo. Cada uno de los filtros comprende esencialmente un elemento inductivo en conexión en serie con un elemento capacitivo y este elemento capacitivo genera una cierta potencia reactiva. El horno de arco y el dispositivo de compensación se dimensionan de tal manera, con respecto a la potencia reactiva, que el segundo dispositivo de compensación genera una potencia que, al menos durante el funcionamiento normal, excede el consumo de potencia reactiva del horno de arco y se controla el primer dispositivo de compensación para consumir una potencia de modo que, junto con el consumo de la carga, se corresponda con la potencia reactiva generada por el segundo dispositivo de compensación. Visto desde el transformador 12, el consumo de potencia reactiva en el embarrado 14 es entonces igual a cero. El segundo dispositivo de compensación puede comprender también un banco de condensadores 43 en el caso de que la generación de los filtros fuese insuficiente.

Los reactores controlados por tiristor comprendidos en el primer dispositivo de compensación están usualmente conectados mutuamente en una conexión en Δ . Por esta razón, las tensiones en el embarrado 14 se indican como tensiones principales en la siguiente descripción. Con las tres fases de la red de c.a. designadas como a, b y c, los valores de amplitud de estas tensiones, preferiblemente sus valores rms, para las tres fases en el embarrado 14 se designan por U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} , respectivamente. Estas tensiones, que también representan la tensión a través del

reactor controlado por tiristor respectivo, se detectan en alguna forma conocida per se por medio de un dispositivo de medición de tensión 5. Las intensidades que circulan hacia la carga 2 se designan por I_a , I_b , I_c , respectivamente, y se detectan en alguna forma conocida per se por medio de un dispositivo de medición de intensidad 6. Los valores detectados de las intensidades y tensiones se suministran como valores medidos a una parte del equipo de control 7, que, dependiendo de las mismas, forma una orden de control $\alpha refxy$, que se suministra a la conexión de los semiconductores 32.

El control del primer dispositivo de compensación se realiza, como se ha mencionado anteriormente, mediante el control de su susceptancia, aquí designada como B . Si el ángulo de encendido α de los tiristores se define con relación a la posición del cruce por cero de la tensión de c.a. de la fase a través del reactor, se obtiene una susceptancia con una magnitud máxima (con un signo negativo), y por ello se obtiene una máxima intensidad a través del reactor, para $\alpha = 90^\circ$, y se obtiene una susceptancia mínima (esto es, igual a cero) para $\alpha = 180^\circ$. El valor de susceptancia con una magnitud máxima asciende a $B = -1/\pi\omega L$, en donde L indica la inductancia del reactor y ω es la frecuencia angular de la red de c.a.

Entre la susceptancia B y el ángulo de encendido α se mantiene la bien conocida relación siguiente

$$B(\alpha) = - [2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha] / \pi\omega L \quad (1)$$

Se ha de entender que se asocia una parte del equipo de control 7 con cada una de las tres fases en la red de c.a. y que la descripción a continuación es representativa de cada una de las fases respectivas.

El equipo de control 7 comprende, en una forma conocida per se, un primer elemento de cálculo 8, un segundo elemento de cálculo 10, un controlador 15 y un elemento de control 9 que comprende un elemento de suma 91 y un elemento de formación de función 92.

El elemento de suma 91 forma una referencia de la susceptancia $Brefxy$ de un primer valor de referencia $Bref1xy$, un segundo valor de referencia $Bref2xy$ y un tercer valor de referencia $Bref3xy$.

Se suministra al elemento de formación de función 92 la referencia de la susceptancia $Brefxy$ y forma la orden de control $\alpha refxy$ en base a la expresión (1). El primer dispositivo de compensación se controla con la ayuda de la orden de control $\alpha refxy$ para un consumo de potencia reactiva, que junto con el consumo del horno de arco equilibra la potencia generada por el segundo dispositivo de compensación.

La Figura 2 muestra una realización preferida de la invención. El primer dispositivo de compensación comprende un reactor controlado por tiristor 3ab, 3bc, 3ca para cada una de las tres fases de la red de c.a. Los reactores controlados por tiristor se conectan en una conexión en Δ .

Se asocia una parte del equipo de control 7ab con el reactor controlado por tiristor 3ab para formar una orden de control $\alpha refxy$ para el mismo en una forma que se describirá con más detalle a continuación. El equipo de control 7ab comprende un elemento de cálculo 8ab que, dependiendo de los valores suministrados al mismo, forma un valor de referencia $Bref1ab$ para la referencia de la susceptancia y un elemento de control 9ab que, dependiendo de la misma, forma la orden de control $\alpha refab$.

El elemento de cálculo 8ab comprende un elemento de formación de un valor medio 81, un elemento de filtro 82 con una característica paso bajo, un elemento de formación de la diferencia 83ab y un elemento de multiplicación 84ab. El elemento de filtro 82 puede, por ejemplo, como se ilustra en la figura, diseñarse con una constante de tiempo simple, típicamente del orden de magnitud de 1 segundo.

De acuerdo con esta realización de la invención, el primer valor de referencia $Bref1ab$ para la susceptancia se forma como sigue.

Los valores de amplitud de la tensión de la carga mencionados anteriormente U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} se detectan continuamente en alguna manera conocida per se por medio de los dispositivos de medición de tensión 5ab, 5bc, 5ca, respectivamente. Los valores de la amplitud U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} , se suministran al elemento de formación de valor medio 81, que, dependiendo de los mismos, forma un valor medio de tensión calculado U_{AV} como el valor medio de los valores medios de la amplitud suministrados al mismo. La señal de salida U_{AV} desde el elemento 81 se proporciona al elemento de filtro 82, que como señal de salida forma un valor medio de tensión filtrado U_{AV}' .

Se suministra al elemento de formación de la diferencia 83ab el valor medio de tensión filtrado U_{AV}' y el valor de amplitud U_{ab} y forma como señal de salida una diferencia ΔU_{ab} de los valores de tensión suministrados al mismo, diferencia que constituye una desviación de la amplitud entre el valor medio de la tensión y el valor de la amplitud.

La desviación de la amplitud y el factor de amplificación K se suministran al elemento de multiplicación 84ab, que, como señal de salida, forma el primer valor de referencia $Bref1ab$ como el producto de los valores de la desviación

de la amplitud y del factor de amplificación suministrados al mismo. El primer valor de referencia $Bref1ab$ se suministra, junto con el segundo valor de referencia $Bref2ab$ y el tercer valor de referencia $Bref3ab$, a un elemento de suma 91ab comprendido en el elemento de control 9ab, elemento de suma 91ab que, como señal de salida, forma una referencia de la susceptancia $Brefab$ para el reactor controlado por tiristor 3ab como la suma de los valores de referencia suministrados al mismo. La referencia de la susceptancia se suministra a un elemento de formación de función 92ab comprendido en el elemento de control 9ab, y forma, dependiendo de la misma, la orden de control $\alpha refab$ para el reactor controlado por tiristor 3ab en base a la expresión (1) anterior.

En una forma correspondiente, las partes del equipo de control 7bc y 7ca se asocian con los reactores controlados por tiristor 3bc y 3ca, respectivamente. Estas partes del equipo de control son de la misma clase que el equipo de control 7ab y por ello comprende los elementos de cálculo 8bc y 8ca, respectivamente, así como los elementos de control 9bc y 9ca, respectivamente, que forman los órdenes de control $\alpha refbc$ y $\alpha refca$ para el reactor controlado por tiristor respectivo.

La descripción anterior en relación al equipo de control 7ab es por ello válida también para las partes del equipo de control 7bc y 7ca, si, para las señales y los elementos con sufijos, se sustituye el sufijo ab por el sufijo bc y el sufijo ca, respectivamente. Sin embargo, en esta realización de la invención, las partes del equipo de control 7bc y 7ca no comprenden ningún elemento de formación del valor medio ni ningún elemento de filtro que correspondan al elemento de formación del valor medio 81 y al elemento de filtro 82 descritos anteriormente. Como se ilustra en la figura, el valor medio de la tensión filtrado U_{AV} desde el elemento de filtro 82 se suministra a los elementos de formación de la diferencia 83bc y 83ca, respectivamente.

El valor de la constante K, que es común a las tres partes del equipo de control 7ab, 7bc, 7ca, se elige dependiendo de datos conocidos para la potencia de cortocircuito S_{SC} de la red de c.a. en el punto de conexión de la carga en la red y en la potencia nominal Q_{TRC} para el primer dispositivo de compensación. Se puede mostrar que teóricamente el valor óptimo de K viene dado por la relación $K = S_{SC} / Q_{TRC}$, sin embargo, en la práctica se elige ventajosamente un valor menor para asegurar una operación estable.

El dispositivo mostrado en la Figura 1B difiere del dispositivo descrito anteriormente y mostrado en la Figura 1A, solamente en relación a la medición de la intensidad. El dispositivo descrito con referencia a la Figura 1A mide la intensidad que es consumida por la carga industrial. El dispositivo mostrado en la Figura 1B mide la intensidad que se consume conjuntamente por la carga industrial y el segundo dispositivo de compensación.

El segundo valor de referencia $Bref2xy$ para la susceptancia del primer dispositivo de compensación se forma en una forma conocida per se dependiendo del consumo de potencia reactiva de la carga industrial, esto es, en esta realización el horno de arco. Como se muestra en la Figura 1, los valores de las intensidades y tensiones se detectan con el dispositivo de medición de tensión 5 y el dispositivo de medición de intensidad 6 y se proporcionan al elemento de cálculo 10. El elemento de cálculo 10 forma, dependiendo de las tensiones e intensidades detectadas, en alguna forma conocida per se, los valores calculados de la potencia activa y reactiva en base a las siguientes ecuaciones conocidas para la transformación desde un sistema trifásico, cuyas fases que se designan como a, b, c, en un sistema bifásico ortogonal, cuyas fases se designan d y q.

$$U_d + jU_q = \bar{U} = 2/3 [U_a + U_b * e^{j2\pi/3} + U_c * e^{-j2\pi/3}] \quad (2)$$

$$I_d + jI_q = \bar{I} = 2/3 [I_a + I_b * e^{j2\pi/3} + I_c * e^{-j2\pi/3}] \quad (3)$$

$$Q(t) = 3/2 \text{Im} [\bar{U} * \bar{I}^*] = -3/2 [U_d * I_q - U_q * I_d] \quad (4)$$

$$P(t) = 3/2 \text{Re} [\bar{U} * \bar{I}^*] = 3/2 [U_d * I_d + U_q * I_q] \quad (5)$$

en las que \bar{I}^* designa el conjugado del vector de intensidad \bar{I} y Re e Im designan la parte real y la parte imaginaria, respectivamente, de la potencia aparente compleja $[\bar{U} * \bar{I}^*]$.

entre la potencia Q_r consumida por el reactor controlado por tiristor y la susceptancia B del mismo, se mantiene la relación siguiente:

$$Q_r = - 3/2 * B * |\bar{U}| \quad (6)$$

en la que $|\bar{U}|$ designa la magnitud del vector de tensión $\bar{U} = U_d + jU_q$.

El controlador 15 forma, también en una forma conocida per se, dependiendo de la diferencia de un factor de potencia detectado para la planta y un valor de referencia para el mismo, un tercer valor de referencia $Bref3$. Este valor de referencia $Bref3$ es igual para cada fase. Se suministran el segundo y el tercer valor de referencia, junto con

el primer valor de referencia $Bref1xy$, al elemento de suma 91, cuya señal de salida $Brefxy$ constituye una referencia de la susceptancia para la susceptancia del primer dispositivo de compensación.

5 Como se ilustra en la Figura 1A, el factor de potencia Pf para el transformador, la carga y el dispositivo de compensación se detecta de alguna manera conocida per se por medio de un elemento de medición 151 en el lado primario del transformador 12 y se suministra al controlador 15. Como se ha mencionado anteriormente, el controlador forma la segunda señal de control $Bref3$ dependiendo de una comparación entre el valor detectado del factor de potencia y para un valor de referencia prestablecido $Pfref$. La intención del controlador 15 es mantener un factor de potencia medio, para el equipo conectado, de acuerdo con un acuerdo con el suministrador de potencia.
 10 Este valor medio se especifica normalmente en periodos de 10-30 minutos y este controlador está por ello activo en un intervalo de frecuencia considerablemente más bajo que aquellas partes del equipo de control 7 que consisten en el primer elemento de cálculo 10 y la realización preferida de la invención de acuerdo con lo anterior.

15 La invención no se limita a las realizaciones mostradas; el experto en la técnica puede, naturalmente, modificarla en una pluralidad de maneras dentro del alcance de la invención como se define por las reivindicaciones. De esa forma, se pueden proporcionar, por ejemplo, al elemento de cálculo 81 los valores detectados de los valores pico o los valores medios de las tensiones, en cuyo caso el valor medio de la tensión se forma como un valor medio de estos valores de amplitud. Adicionalmente, la invención puede, por supuesto, aplicarse también al caso en que el primer dispositivo de compensación comprende reactores controlados por tiristor en una conexión en Y.
 20

El elemento de cálculo 10 se puede diseñar también como se ilustra en la Figura 3, comprendiendo un elemento de cálculo 101, un elemento de filtro 102 con una característica de paso banda, dos sumadores 103, 104 y un elemento de formación del cociente 105.

25 En esta realización, el elemento de cálculo 101 calcula, en una forma conocida per se, tanto la potencia activa consumida instantáneamente en el horno de arco como la potencia reactiva consumida instantáneamente en el horno de arco, por ejemplo por medio de la transformación de las tensiones e intensidades detectadas en un sistema bifásico ortogonal como se describe en el documento EP 0 847 612. El valor calculado de la potencia activa consumida instantáneamente se suministra a un elemento de filtro 102, cuya función de transferencia $G(s)$ hace al
 30 elemento de función efectivo en el intervalo de frecuencia efectiva para la reducción de los parpadeos. La señal de salida del elemento de función y el valor calculado para la potencia reactiva consumida se suministran a un sumador 103 que, en una forma conocida per se, dependiendo de estos valores, forma una suma SQL. Se suministra la suma SQL al sumador 104 y, con signo invertido, una señal SQF que representa la potencia reactiva generada por el segundo dispositivo de compensación. La señal de salida SQr desde el sumador 104 consiste por ello en una
 35 diferencia de las señales suministradas y constituye un valor calculado de la potencia reactiva que se ha de consumir por el primer dispositivo de compensación. Se suministra la señal de salida SQr al elemento de formación del cociente 105 y forma, en una manera conocida per se, el segundo valor de referencia $Bref2xy$.

REIVINDICACIONES

1. Un método para la compensación del consumo de potencia reactiva de una carga industrial (2), preferiblemente un horno de arco eléctrico o una planta para el laminado de materiales metálicos, alimentado desde una red de c.a. eléctrica (1) trifásica (a, b, c), en la que se conectan tanto un primer dispositivo de compensación (3, 3ab, 3bc, 3ca) para el consumo controlable de potencia reactiva como un segundo dispositivo de compensación (4) para la generación de potencia reactiva, a la red de potencia eléctrica en una conexión en paralelo con la carga, comprendiendo el primer dispositivo de compensación un reactor controlado por tiristor (31, 32) para cada una de las fases de la red de c.a., mediante el que se determina el consumo instantáneo de potencia reactiva (Q(t)) por la carga y se forma una orden de control (α_{refxy} , α_{refab} , α_{refbc} , α_{refca}) para el control del ángulo de fase de los reactores controlados por tiristor dependiendo de la misma, **caracterizado por que** para cada uno de los reactores controlados por tiristor, se detecta un valor de amplitud (U_{ab} , U_{bc} , U_{ca}) para una tensión, tensión que representa la tensión a través de dicho reactor, se forma un valor medio de tensión (UAV, UAV') como un valor medio de dichos valores de amplitud, para cada uno de los reactores controlados por tiristor, se forma una desviación de amplitud (ΔU_{ab} , ΔU_{bc} , ΔU_{ca}) como una diferencia del valor medio de tensión y el valor de amplitud asociado con el reactor controlado por tiristor, y que para cada uno de los reactores controlados por tiristor, se forma una orden de control separada dependiendo de la desviación de la amplitud para el reactor controlado por tiristor respectivo.
2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** los reactores controlados por tiristor se conectan mutuamente en una conexión en Δ .
3. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-2, **caracterizado por que** la orden de control respectiva se forma dependiendo también del consumo instantáneo de potencia activa (P(t)) por parte de la carga.
4. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** se determina el consumo total de potencia reactiva por parte de la carga y del segundo dispositivo de compensación y que la orden de control respectiva se forma en dependencia de la misma.
5. Un dispositivo para la compensación del consumo de potencia reactiva de una carga industrial (2), preferiblemente un horno de arco eléctrico o una planta para el laminado de materiales metálicos, alimentado desde una red de c.a. eléctrica (1) trifásica (a, b, c), que comprende un primer dispositivo de compensación (3, 3ab, 3bc, 3ca) para el consumo controlable de la potencia reactiva y un segundo dispositivo de compensación (4) para la generación de potencia reactiva, estando conectados ambos de dichos dispositivos de compensación a la red eléctrica de potencia en una conexión en paralelo con la carga, comprendiendo el primer dispositivo de compensación un reactor controlado por tiristor (31, 32) para cada una de las fases de la red de c.a., para cada uno de los reactores controlados por tiristor unos dispositivos de medición de tensión (5, 5ab, 5bc, 5ca) para la detección de los valores de las amplitudes (U_{ab} , U_{bc} , U_{ca}) para una tensión que representa la tensión a través de los mismos, dispositivos de medición de intensidad (6) para la detección de las intensidades respectivas (I_a , I_b , I_c) en la carga y un equipo de control (7, 7ab, 7bc, 7ca) al que se suministran los valores medidos de los valores de amplitud detectados para tensiones e intensidades, comprendiendo el equipo de control medios (101) para la determinación del consumo instantáneo de potencia reactiva (Q(t)) por la carga y un dispositivo de control (9) que, dependiendo de la misma, forma una orden de control (α_{refxy} , α_{refab} , α_{refbc} , α_{refca}) para los reactores controlados por tiristor y suministra la orden de control a los mismos, **caracterizado por que** el equipo de control comprende medios para la formación de un valor medio de tensión (UAV, UAV') como el valor medio de dichos valores de amplitud para la tensión, medios (83ab, 83bc, 83ca) para la formación, para cada uno de los reactores controlados por tiristor, de una desviación de amplitud (ΔU_{ab} , ΔU_{bc} , ΔU_{ca}) como una diferencia del valor medio de tensión y el valor de amplitud asociado con el reactor controlado por tiristor, y medios (84ab, 84bc, 84ca, 91, 91ab, 91bc, 91ca, 92, 92ab, 92bc, 92ca) para la formación, para cada uno de los reactores controlados por tiristor, de una orden de control separada dependiendo de la desviación de la amplitud para el reactor controlado por tiristor respectivo.
6. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado por que** los reactores controlados por tiristor se conectan mutuamente en una conexión en Δ .
7. Un dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5-6, **caracterizado por que** el equipo de control comprende medios (101) para la determinación del consumo instantáneo de potencia activa (P(t)) por parte de la carga y medios (102-105, 91, 91ab, 91bc, 91ca) para la formación de la orden de control respectiva dependiendo de la misma.
8. Un dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5-7, **caracterizado por que** comprende dispositivos de medición de intensidad para la detección de las intensidades que circulan hacia la conexión en paralelo que está constituida por la carga y el segundo dispositivo de compensación y que el equipo de control

comprende medios (101) para la determinación del consumo total de potencia reactiva por la carga y por el segundo dispositivo de compensación, formando el dispositivo de control la orden de control respectiva dependiendo de la misma.

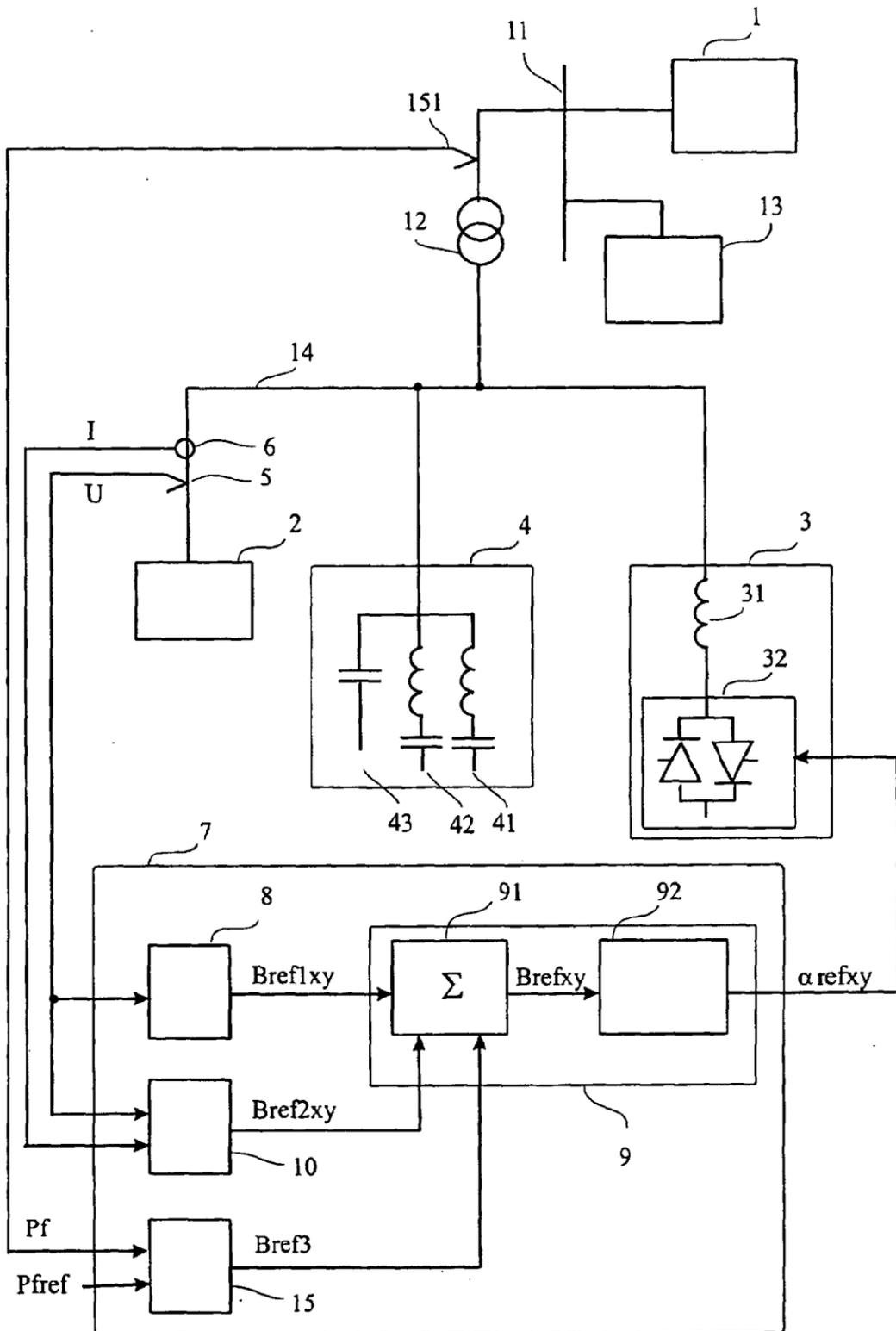


FIG. 1A

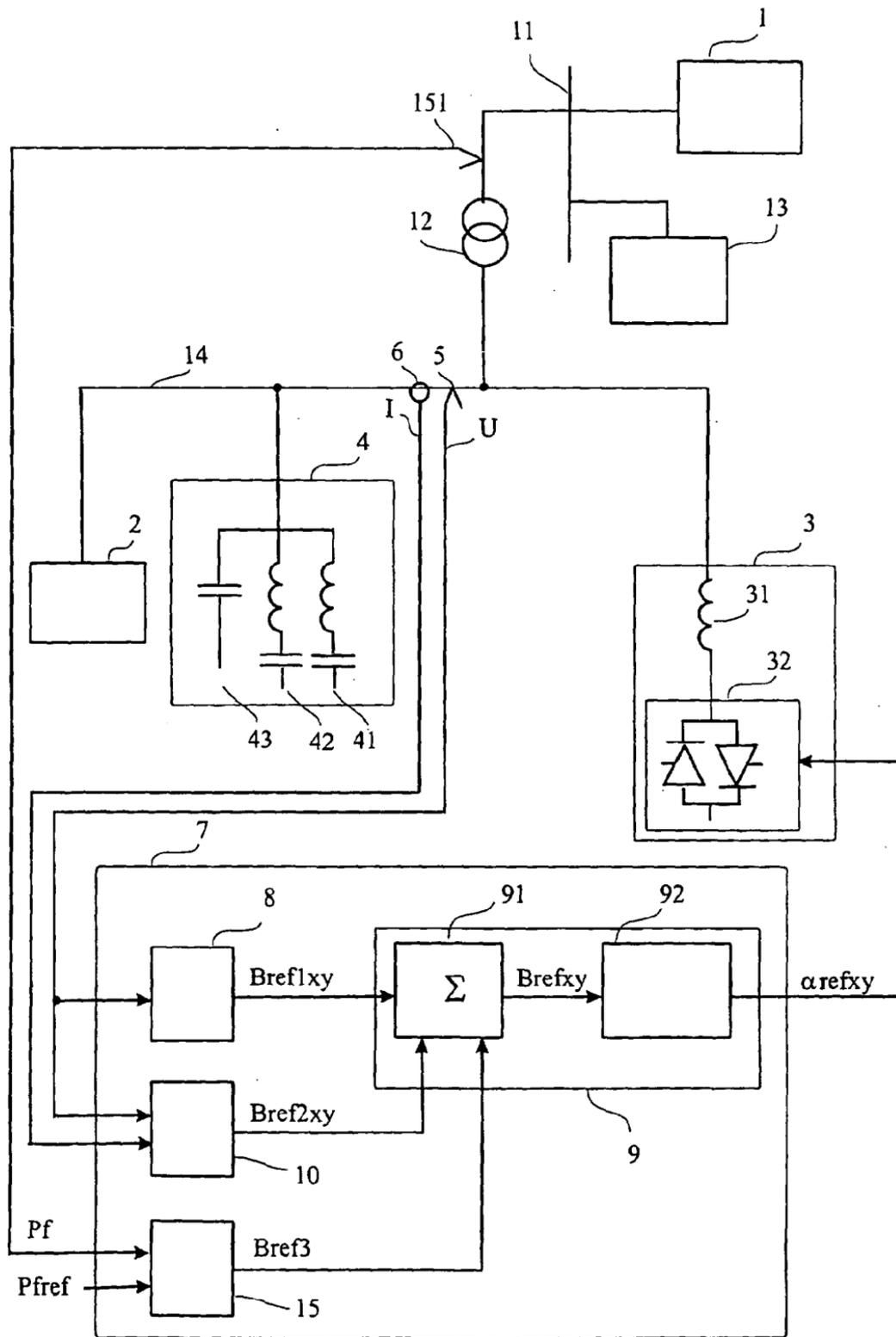


FIG. 1B

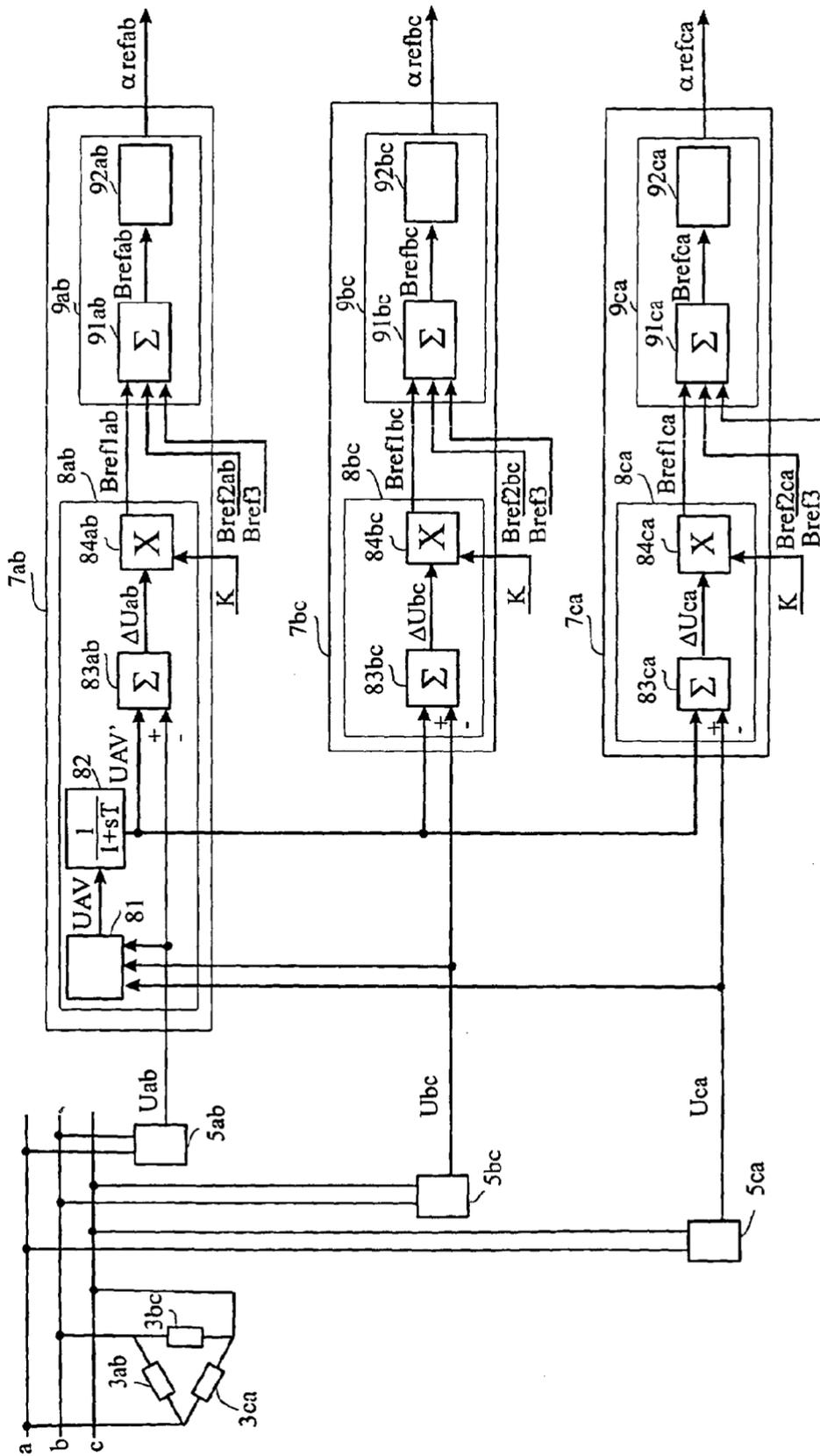


FIG. 2

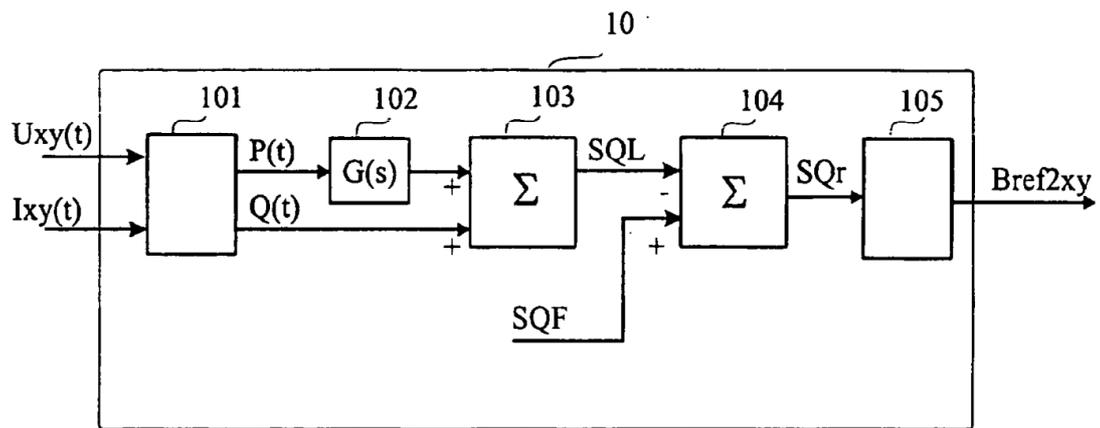


FIG. 3