

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 685 292**

51 Int. Cl.:

H04J 3/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.09.2012** **E 12006560 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.07.2018** **EP 2709298**

54 Título: **Método de sincronización y aparatos electrónicos que utilizan enlaces redundantes**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.10.2018

73 Titular/es:

OMICRON ELECTRONICS GMBH (100.0%)
Oberes Ried 1
6833 Klaus, AT

72 Inventor/es:

MARINESCU, CRISTIAN y
KOMES, ANDRÉ

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 685 292 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

Método de sincronización y aparatos electrónicos que utilizan enlaces redundantes

5 Campo técnico

Las realizaciones de la invención se relacionan con métodos de sincronización de un aparato electrónico con un reloj maestro y un aparato electrónico correspondiente. Las realizaciones de la invención se relacionan con métodos y aparatos electrónicos en los cuales un reloj de un aparato está sincronizado con un reloj maestro usando mensajes de sincronización transmitidos a través de una red de comunicación.

Antecedentes

15 La sincronización de tiempo de precisión tiene que lograrse en una amplia diversidad de campos técnicos, que incluyen sistemas de automatización de sistemas de energía eléctrica u otros sistemas de automatización industrial. Por ejemplo, en un sistema de automatización de un sistema de energía eléctrica, diversos dispositivos electrónicos inteligentes (IEDs) están sincronizados respectivamente con un reloj maestro. Otros ejemplos incluyen detección de fallas en sistemas de energía eléctrica, control de automatización de fábrica o campos técnicos similares.

20 Se conocen diversos procedimientos de sincronización en la técnica. Los documentos WO 03/028258 A1 y WO 03/028259 A1 describen técnicas de sincronización. Un procedimiento de sincronización estandarizado se define mediante el Protocolo de Tiempo de Precisión (PTP).

25 El PTP se definió originalmente en el estándar IEEE 1588-2002 titulado "Estándar para un protocolo de sincronización de reloj de precisión para sistemas de medición y control en red". Un estándar revisado, IEEE 1588-2008 fue lanzado en 2008, el cual también se conoce como PTP Versión 2. Ambos estándares se denominarán aquí IEEE 1588 o PTP. PTP está diseñado para lograr una alta sincronización entre dispositivos inteligentes que utilizan un medio de comunicación no determinista como una red informática. El estándar describe una arquitectura maestro-esclavo para la distribución del tiempo. El gran maestro, que distribuye el tiempo, se elige utilizando el algoritmo del mejor reloj maestro (BMC). El IEEE 1588 define diversos protocolos de transporte (capa 2, IPv4, IPv6), dos modos (una etapa, dos etapas) y dos tipos de relojes transparentes (Extremo a Extremo, Punto a Punto). El reloj transparente de extremo a extremo (E2E) mide el tiempo que necesitan los mensajes PTP para transitar el reloj transparente y entregar esta información en el campo de corrección del mensaje PTP (el retraso de propagación del enlace no se corrige). El uso de relojes transparentes Punto a Punto (P2P), el retraso de propagación del enlace también se considera además del tiempo de tránsito a través del reloj transparente, y también se incluye en el campo de corrección del mensaje PTP.

40 El método de sincronización de Punto a Punto IEEE 1588 usa relojes transparentes para determinar el retraso de propagación de los mensajes de sincronización enviados por un maestro de sincronización. Los nodos de sincronización usan esta información de retraso de propagación para determinar su desfase de reloj actual al reloj maestro y ajustar sus relojes en consecuencia. Este cálculo de desfase se realiza marcando el tiempo de los paquetes en los relojes transparentes de entrada y salida, lo que permite la determinación de los retrasos de propagación de un mensaje de sincronización y el tiempo de salida en el maestro de sincronización de este mensaje.

45 Al mismo tiempo, los sistemas distribuidos críticos tienen una gran demanda de tolerancia a errores y fiabilidad. Para eliminar el único punto de falla que un solo enlace de comunicación impone a dichos sistemas, se pueden usar enlaces redundantes. Para aprovechar las ventajas de la tecnología Ethernet y aumentar aún más la solidez de las fallas de enlace de las redes Ethernet, diversas soluciones Ethernet redundantes están estandarizadas y en uso. Los ejemplos incluyen la Comisión Electrotécnica Internacional, IEC 62439-3 Cláusula 5 - Redundancia sin costuras de alta disponibilidad (HSR). IEC, Agosto de 2009 o Comisión Electrotécnica Internacional, IEC 62439-3 Cláusula 4 - Protocolo de Redundancia Paralela (PRP). IEC, Agosto de 2009. En general, dichas soluciones introducen una capa de abstracción que ofrece aplicaciones con la misma interfaz que proporcionan los enlaces Ethernet no redundantes. Esta abstracción de los enfoques convencionales se puede lograr descartando paquetes duplicados que se transfieren a través de un enlace redundante y pasando el otro paquete a la aplicación. Por lo tanto, la aplicación ejecutada en un aparato no sabe en qué puerto realmente se recibió un paquete. El documento US 6,252,445 B1 describe un método y un aparato para mejorar una resolución de reloj, en el cual se usa un circuito de selección para descartar todas las señales de toma excepto una.

60 El documento EP 2 254 267 A1, el cual sirve de base para el preámbulo de las reivindicaciones independientes, divulga un método para recuperar información de temporización a través de redes de paquetes. Un receptor recibe una pluralidad de transmisiones de paquetes a través de diferentes rutas a partir de la misma fuente. Se forma una estimación de demora agregada combinando retrasos filtrados ponderados para las transmisiones.

65 El documento EP 2 209 239 A2 se relaciona con un método y con una disposición para el ajuste de una señal de reloj. Un primer elemento de red recibe mensajes de sincronización de cada uno de la pluralidad de segundos elementos de red. Los indicadores de fase son producidos por el primer elemento de red. Cada indicador de fase está asociado con un segundo elemento de red diferente.

Breve resumen

5 Es un objeto de la invención proporcionar métodos y un aparato los cuales permitan realizar la sincronización con un reloj maestro a la vez que se mejora la tolerancia y fiabilidad de los fallos. Es en particular un objeto de la invención proporcionar métodos y un aparato en los cuales el módulo que realiza la sincronización tiene acceso a y usa información sobre la ruta de transmisión de mensajes de un protocolo de sincronización, tal como PTP.

10 De acuerdo con los métodos y aparatos de las realizaciones, un reloj de un aparato electrónico se sincroniza con un reloj maestro. El aparato electrónico tiene una primera y una segunda interfaz de red y una instancia PTP la cual maneja los mensajes de sincronización recibidos en la primera y la segunda interfaz de red. El aparato electrónico recibe mensajes de sincronización en al menos dos redes diferentes. El aparato electrónico usa los mensajes de sincronización transmitidos a través de diferentes redes para la sincronización con el maestro, en lugar de usar solo el primer mensaje de sincronización que llega y descartar el mensaje de sincronización transmitido a través de la otra red. La primera interfaz de red puede ser un primer puerto Ethernet y la segunda interfaz de red puede ser un segundo puerto Ethernet.

20 De acuerdo con los métodos y aparatos de las realizaciones, una sincronización de acuerdo con IEEE 1588 se puede combinar con rutas de transmisión redundantes, por ejemplo con Ethernet redundante, de manera que el módulo IEEE 1588 y la implementación redundante de Ethernet se conozcan entre sí, de modo que el módulo IEEE 1588 pueda procesar los mensajes de sincronización que se transmiten a través de ambas redes redundantes. Cuando se compara con una implementación de Ethernet redundante convencional tal como HSR o PRP, se pueden lograr diversos efectos mediante tal implementación. El módulo IEEE 1588 tiene información sobre la ruta de transmisión de un mensaje de sincronización y puede usar esta información para aumentar la precisión. Para ilustración, utilizando la información de temporización adicional de los mensajes de sincronización redundantes y la información de temporización de los enlaces de red redundantes, es posible reducir los efectos de las marcas de tiempo inexactas que pueden introducirse por la deriva del reloj de los relojes digitales. Al reducir los efectos de inexactitud de marca de tiempo, se logra un aumento de la precisión de sincronización de IEEE 1588.

30 El aparato electrónico puede determinar el retraso de enlace individualmente para las interfaces de red primera y segunda con el método de punto a punto definido en IEEE 1588. Los retrasos de enlace pueden usarse cuando se combinan los mensajes de sincronización recibidos en la primera y segunda interfaces de red para determinar un desfase de reloj entre el reloj esclavo del aparato y el reloj maestro. Se puede realizar un promedio de los parámetros de corrección del reloj. Se puede calcular una media ponderada de los primer y segundo parámetros de corrección de reloj, dependiendo de los tiempos de retraso de propagación asociados con la transmisión de mensajes de sincronización a través de la primera red y la segunda red. Una media ponderada de los parámetros de corrección del primer y segundo reloj se calcula selectivamente solo si los tiempos de retraso cumplen los criterios predefinidos, a la vez que uno de los primeros y segundos parámetros de corrección de reloj se seleccionarán para alinear el reloj esclavo con el reloj maestro en caso contrario. Los factores de ponderación de los primer y segundo parámetros de corrección de reloj que se usan para calcular el promedio ponderado se pueden definir con base en los tiempos de retraso asociados con la transmisión de mensajes de sincronización a través de la primera red y la segunda red, respectivamente.

45 De acuerdo con una realización, se proporciona un método de sincronización de un aparato electrónico con un reloj maestro. Al menos un primer mensaje de sincronización se recibe en una primera interfaz del aparato electrónico. El al menos un primer mensaje de sincronización se transmite a partir de un aparato adicional a través de una primera red. Al menos un segundo mensaje de sincronización se transmite a partir del aparato adicional a través de una segunda red y se recibe en una segunda interfaz de red del aparato electrónico. Un primer parámetro de corrección de reloj se determina con base en al menos un primer mensaje de sincronización. Un segundo parámetro de corrección de reloj se determina con base en al menos un segundo mensaje de sincronización. Un reloj del aparato electrónico está alineado con el reloj maestro utilizando tanto el primer parámetro de corrección de reloj como el segundo parámetro de corrección de reloj para la alineación de reloj.

55 Los al menos un primer y segundo mensajes de sincronización pueden ser mensajes definidos en el PTP. A modo de ilustración, el al menos un primer mensaje de sincronización puede incluir un primer mensaje de sincronización PTP. El al menos un primer mensaje de sincronización puede incluir un primer mensaje de respuesta de retraso PTP. El al menos un segundo mensaje de sincronización puede incluir un segundo mensaje de sincronización PTP. El al menos un segundo mensaje de sincronización puede incluir un segundo mensaje de respuesta de retraso PTP. La alineación del reloj del aparato electrónico con el reloj maestro puede incluir la determinación de un desfase de reloj mediante el cual el reloj y el reloj maestro difieren entre sí. Al agregar este desfase de reloj al reloj del aparato, se puede generar un valor de reloj sincronizado usando el reloj local del aparato electrónico. El primer parámetro de corrección de reloj puede determinarse como un primer desfase de reloj con base en el primer mensaje de sincronización, el segundo parámetro de corrección de reloj puede determinarse como un segundo desfase de reloj con base en el segundo mensaje de sincronización, y el desfase de reloj puede determinarse como un promedio ponderado del primer desfase de reloj y el segundo desfase de reloj. Alternativa o adicionalmente, los primero y segundo parámetros de corrección

de reloj pueden incluir tiempos de retraso de propagación, tiempos de residencia del mensaje de sincronización respectivo en dispositivos a lo largo de la ruta en la cual se transmite el mensaje de sincronización respectivo, o similar.

5 De acuerdo con una realización, se proporciona un aparato electrónico que comprende una primera interfaz de red configurada para recibir al menos un primer mensaje de sincronización transmitido a partir de un aparato adicional a través de una primera red. El aparato electrónico comprende una segunda interfaz de red configurada para recibir al menos un segundo mensaje de sincronización transmitido a partir del aparato adicional a través de una segunda red. El aparato electrónico comprende un dispositivo de procesamiento configurado para determinar un primer parámetro de corrección de reloj con base en al menos un primer mensaje de sincronización y un segundo parámetro de corrección de reloj con base en al menos un segundo mensaje de sincronización, y para alinear un reloj del aparato electrónico con un reloj maestro utilizando tanto el primer parámetro de corrección de reloj como el segundo parámetro de corrección de reloj para la alineación de reloj.

15 El dispositivo de procesamiento puede incluir un módulo de redundancia en interfaz con las primera y segunda interfaces de red y un módulo de sincronización en interfaz con el módulo de redundancia. El módulo de sincronización puede estar configurado para determinar los primer y segundo parámetros de corrección de reloj y para alinear el reloj del aparato electrónico con el reloj maestro como una función tanto del primer parámetro de corrección como del segundo parámetro de corrección. El módulo de redundancia y el módulo de sincronización pueden implementarse en hardware, software o una combinación de los mismos. A modo de ilustración, el módulo de redundancia y el módulo de sincronización pueden implementarse como diferentes módulos de software ejecutados por un procesador del aparato electrónico.

20 El aparato electrónico se puede configurar para realizar el método de cualquier aspecto o realización. El dispositivo de procesamiento puede realizar las operaciones de procesamiento respectivas.

25 Una alineación de reloj la cual utiliza tanto el primer y el segundo parámetros de alineación de reloj no necesita realizarse en cada ciclo de sincronización. Para ilustración, una alineación de reloj la cual usa el primer y el segundo parámetros de alineación de reloj puede realizarse en algunos ciclos de sincronización, a la vez que una alineación de reloj con base en el(los) primer(os) mensaje(es) de sincronización solamente o con base al(los) segundo(s) mensaje(s) de sincronización solamente se puede realizar en otros ciclos de sincronización. El aparato electrónico puede configurarse para esperar un período de tiempo predeterminado después de que se haya recibido el primer y el segundo mensaje(s) de sincronización. Si el mensaje que llega más tarde del primer y segundo mensaje(s) de sincronización no se recibe dentro del intervalo de tiempo predeterminado, se puede iniciar un procedimiento en el cual la alineación del reloj se realiza en función del anterior que llega del primer y segundo mensaje(s) de sincronización solamente. Es decir, a la vez que la alineación del reloj se realiza con base en el primer parámetro de alineación de reloj y el segundo parámetro de alineación de reloj en algunos ciclos de sincronización, se puede activar selectivamente un procedimiento de retroceso en el cual se realiza una alineación de reloj usando ya sea el primer mensaje(s) de sincronización solamente o el segundo mensaje(s) de sincronización solamente.

40 Se considera el signo de los primero y segundo parámetros de corrección. A modo de ejemplo, si ambos representan una corrección positiva del reloj, o ambos representan uno negativo, el primer mensaje que llega (de la ruta de red más rápida) debe prevalecer. De lo contrario, si los parámetros de corrección tienen signos diferentes, ambos deben considerarse (combinándolos como se describe) al ajustar el reloj.

45 El aparato electrónico puede ser un dispositivo electrónico inteligente (IED) de un sistema de automatización de un sistema de energía eléctrica.

50 De acuerdo con una realización, se proporciona un sistema de energía eléctrica el cual tiene un sistema de automatización. El sistema de automatización comprende el aparato electrónico de acuerdo con una realización y un aparato adicional que comprende un reloj maestro. El aparato adicional está acoplado al aparato electrónico por una primera red y una segunda red.

55 Se pueden usar métodos y aparatos de acuerdo con realizaciones para la sincronización de acuerdo con el PTP. Los métodos y aparatos pueden usarse en particular para la sincronización entre diversos aparatos de un sistema de energía eléctrica, un sistema de automatización industrial o un sistema similar.

Breve descripción de los dibujos

60 Las realizaciones de la invención se explicarán a continuación aquí con referencia a los dibujos. A lo largo de los dibujos, los números de referencia similares se refieren a elementos similares.

La Figura 1 es una representación esquemática de un sistema en el cual se pueden usar métodos y aparatos de acuerdo con las realizaciones.

65 La Figura 2 es un diagrama de bloques de un aparato de acuerdo con una realización.

La Figura 3 es un diagrama de flujo de un método de una realización.

La Figura 4 ilustra mensajes transmitidos en métodos y sistemas de realizaciones.

5 La Figura 5 es una representación esquemática de un sistema de acuerdo con una realización.

La Figura 6 ilustra retrasos de propagación que pueden usarse en métodos y aparatos de realizaciones.

La Figura 7 es un diagrama de flujo de un método de otra realización.

10

Descripción de realizaciones

Las realizaciones de la invención se describirán con más detalle con referencia a los dibujos. Aunque algunas realizaciones se describirán en contextos específicos, tales como mensajes específicos definidos en PTP, las realizaciones de la invención no están limitadas a los contextos específicos. Aunque algunas realizaciones se describirán en el contexto de los procedimientos de extremo a extremo de PTP (E2E) o de los procedimientos de punto a punto de PTP (P2P), las realizaciones se pueden usar para las técnicas de sincronización de P2P y E2E.

15

La Figura 1 muestra un sistema 1 en el cual las realizaciones de la invención se pueden usar para sincronizar un reloj de un aparato 10 electrónico con un reloj de un aparato 13 adicional. El aparato 10 electrónico funciona como un PTP esclavo. El aparato 13 adicional funciona como un PTP maestro. La sincronización puede realizarse determinando un desfase de reloj que indique la diferencia entre el reloj maestro del aparato 13 adicional, es decir, el PTP maestro, y el reloj local del aparato 10 electrónico, es decir, el PTP esclavo. Al agregar este desfase de reloj al valor de reloj del reloj local del aparato 10 electrónico, se puede obtener un valor sincronizado de reloj que se sincroniza con el reloj maestro del PTP maestro. A la vez que solo se ilustra un PTP esclavo en el sistema 1, el sistema 1 puede incluir una pluralidad de PTP esclavos. Cada uno o al menos diversos de los PTP esclavos pueden tener una configuración y operación que es idéntica a la del aparato 10 electrónico, que se explicará con más detalle a continuación. De manera similar, aunque solo se muestra un PTP maestro en el sistema 1, el sistema 1 también puede incluir diversos PTP maestros. Uno de los maestros se puede seleccionar de acuerdo con el algoritmo del Mejor Reloj Maestro (BMC). La sincronización se realiza transmitiendo mensajes de sincronización entre el PTP maestro y el PTP esclavo. Los mensajes de sincronización pueden incluir un mensaje de sincronización definido en PTP, un mensaje de respuesta de retraso definido en PTP u otros mensajes, como los mensajes de seguimiento definidos en PTP.

20

25

30

El aparato 10 electrónico está acoplado al aparato 13 adicional a través de una primera red 11 y una segunda red 12. La primera red 11 puede ser una red Ethernet. La segunda red 12 puede ser una red Ethernet. La primera y segunda redes 11, 12 son redes de comunicación. La primera y la segunda redes 11, 12 pueden ser respectivamente redes conmutadas. El aparato 10 electrónico está configurado para recibir uno o diversos primeros mensajes de sincronización transmitidos a partir del aparato 13 adicional al aparato 10 electrónico a través de la primera red 11. El aparato 10 electrónico está configurado para recibir uno o diversos segundos mensajes de sincronización transmitidos a partir del aparato 13 adicional al aparato 10 electrónico a través de la segunda red 12. El aparato 10 electrónico está configurado de manera que no solo se utiliza información de marca de tiempo que se incluye en los mensajes de sincronización respectivos, sino también información sobre la ruta de transmisión cuando se procesan los mensajes de sincronización. El aparato 10 electrónico puede configurarse para determinar un primer parámetro de corrección de reloj con base en los primeros mensajes de sincronización transmitidos a través de la primera red 11. El aparato 10 electrónico puede configurarse para determinar un segundo parámetro de corrección de reloj con base en los segundos mensajes de sincronización transmitidos a través de la segunda red 12. El aparato 10 electrónico puede estar configurado para combinar el primer parámetro de corrección de reloj y el segundo parámetro de corrección para determinar un desfase de reloj entre el reloj del aparato 10 electrónico y el reloj maestro. Este procedimiento se puede realizar en cada ciclo de sincronización.

35

40

45

Para ilustración, el aparato 10 electrónico puede incluir un módulo de sincronización el cual recibe un primer mensaje de Sincronización transmitido a través de la primera red 11, que incluye información en la red sobre la cual se transmitió el primer mensaje de Sincronización. El aparato 10 electrónico puede calcular un primer desfase de reloj, usando procedimientos de PTP convencionales aplicados al primer mensaje de sincronización. El módulo de sincronización puede recibir un segundo mensaje de Sincronización transmitido a través de la segunda red 12, que incluye información en la red sobre la cual se transmitió el segundo mensaje de Sincronización. El aparato 10 electrónico puede calcular un segundo desfase de reloj, usando procedimientos de PTP convencionales aplicados al segundo mensaje de Sincronización. El aparato 10 electrónico puede calcular el desfase del reloj utilizado para alinear el reloj esclavo con el reloj maestro como una media ponderada del primer y segundo desfases de reloj. Los coeficientes de ponderación pueden depender de los retrasos de propagación del primer y segundo mensaje de sincronización.

50

55

60

A la vez que el desfase del reloj el cual se usa para la alineación del reloj puede determinarse normalmente con base tanto al(los) primer(os) mensaje(s) de sincronización como al(los) segundo(s) mensaje(s) de sincronización, se puede activar un procedimiento alternativo cuando solo se reciben el(los) primer(os) mensaje(s) de sincronización(s) o solo el(los) segundo(s) mensaje(s) de sincronización. En tales condiciones, la alineación del reloj se puede realizar con base en el(los) primer(os) mensaje(s) de sincronización solamente o con base e el(los) segundo(s) mensaje(s) de

sincronización solamente, dependiendo de cual(es) mensaje(s) de sincronización se recibieron con éxito en el aparato electrónico. El procedimiento de repliegue también puede activarse cuando la diferencia de tiempo entre la recepción del primer mensaje de sincronización y la recepción del segundo mensaje de sincronización alcanza o supera un umbral predeterminado. La alineación del reloj sigue siendo posible, incluso en condiciones de operación en las cuales una de las dos rutas de transmisión está excepcionalmente bloqueada.

El signo de los parámetros de corrección se considera para la decisión de combinar estos parámetros. Si tanto el primero como el segundo parámetro de corrección de reloj representan una corrección positiva del reloj, o si ambos representan uno negativo, el primer mensaje que llega (de la red más rápida) debe prevalecer. De lo contrario, si los parámetros de corrección presentan signos diferentes, ambos deben considerarse al ajustar el reloj.

La Figura 2 es una representación de diagrama de bloques esquemática de un aparato electrónico de acuerdo con una realización. El aparato electrónico comprende una primera interfaz 21 de red en la cual se reciben mensajes de sincronización transmitidos a través de la primera red 11. El aparato electrónico comprende una segunda interfaz 22 de red en la cual se reciben mensajes de sincronización transmitidos por la primera red 12. La primera interfaz 21 de red puede ser un primer puerto Ethernet y la segunda interfaz 22 de red puede ser un segundo puerto Ethernet.

El aparato electrónico proporciona una combinación de Ethernet redundante u otros canales de comunicación redundantes con sincronización de acuerdo con PTP. El aparato electrónico incluye un módulo 23 de redundancia acoplado a la primera interfaz 21 de red y a la segunda interfaz 22 de red. El aparato electrónico incluye un módulo 24 de sincronización. El módulo 23 de redundancia y el módulo 24 de sincronización pueden implementarse respectivamente en hardware, software, o una combinación de los mismos. El módulo 24 de sincronización puede ser una instancia PTP ejecutada por un dispositivo de procesamiento del aparato electrónico y puede actuar así como un "módulo 1588" configurado para procesar mensajes definidos en PTP, es decir, IEEE 1588. El módulo 23 de redundancia está configurado para proporcionar mensajes recibidos en la primera interfaz 21 de red y la segunda interfaz 22 de red a otras unidades funcionales del aparato electrónico. El módulo 23 de redundancia está configurado para proporcionar primeros mensajes de sincronización recibidos en la primera interfaz 21 de red y segundos mensajes de sincronización recibidos en la segunda interfaz 22 al módulo 24 de sincronización de tal manera que el módulo 24 de sincronización sepa si el mensaje de sincronización respectivo se recibió en la primera interfaz 21 de red o la segunda interfaz 22 de red. Se pueden usar diferentes protocolos para la transmisión de datos sobre la primera interfaz 21 de red y la segunda interfaz 22 de red. En este caso, el módulo 23 de redundancia se puede configurar para manejar los diferentes protocolos de red. Para ilustración, en virtud del módulo 23 de redundancia, el módulo 24 de sincronización puede comunicarse con el maestro 13 usando un primer protocolo (como IPv4) sobre la primera red 11 y usando el mismo o un segundo protocolo diferente (como IPv6) sobre la segunda red 12.

Se obtienen diversos efectos cuando el módulo 24 de sincronización está al tanto de la redundancia de red y se proporciona información sobre la interfaz 21, 22 de red en la cual se recibió un mensaje de sincronización. El módulo 24 de sincronización es capaz de determinar el(los) retraso(s) de enlace y compensar el retraso de propagación de un mensaje de sincronización. Además, debido a la compensación precisa de los retrasos de propagación, es posible lograr una alta precisión de sincronización. Esto puede ser importante para los requisitos de precisión de algunas aplicaciones de tiempo crítico.

El primer y el segundo mensajes de sincronización pueden ser datagramas. Al menos algunos de los primeros y segundos mensajes de sincronización pueden ser datagramas que incluyen marcas de tiempo del reloj maestro. Al menos algunos de los primeros y segundos mensajes de sincronización pueden ser datagramas que incluyen información de temporización, tales como tiempos de residencia u otra información en el historial de transmisión, escritos en el datagrama respectivo por dispositivos a lo largo de la ruta en la cual se encuentra el primer o segundo mensaje de sincronización respectivo transmitido. Los mensajes de sincronización pueden incluir mensajes de Sincronización y/o mensajes de respuesta de retraso definidos en PTP. El módulo 24 de sincronización también se puede configurar para emitir primeros mensajes de sincronización, por un mensaje de solicitud de retraso PTP, sobre la primera interfaz 21 de red y para emitir segundos mensajes de sincronización, por ejemplo un mensaje de solicitud de retraso PTP, sobre la segunda interfaz 22 de red.

El módulo 24 de sincronización puede configurarse para determinar un primer parámetro de corrección de reloj con base en el primer mensaje de sincronización. El módulo 24 de sincronización puede calcular un primer desfase de reloj con base en una marca de tiempo incluida en un mensaje de sincronización recibido en la primera interfaz 21 de red. El módulo 24 de sincronización puede configurarse para determinar un segundo parámetro de corrección de reloj con base en los segundos mensajes de sincronización. El módulo 24 de sincronización puede calcular un segundo desfase de reloj con base en una marca de tiempo incluida en un mensaje de sincronización recibido en la segunda interfaz 22 de red. El módulo 24 de sincronización puede combinar los primeros y segundos desfases de reloj para calcular un desfase de reloj, lo cual representa un diferencia entre el reloj maestro y el reloj del aparato electrónico. El desfase de reloj se puede usar para la alineación del reloj, por ejemplo añadiendo el desfase de reloj al valor del reloj local del aparato electrónico. El módulo 24 de sincronización puede realizar un procesamiento alternativo o adicional para determinar los parámetros de corrección del reloj. A modo de ilustración, pueden determinarse retrasos de enlace para la transmisión en enlaces de las primera y segunda redes 11, 12. La información de temporización

- incluida en los mensajes de sincronización se puede evaluar para determinar los retrasos de enlace. La información de temporización puede incluir marcas de tiempo que indican los tiempos de entrada y salida del mensaje de sincronización en los dispositivos situados a lo largo de la ruta de transmisión del mensaje de sincronización respectivo. La información de temporización puede incluir información sobre los tiempos de residencia, es decir, en una diferencia entre las marcas de tiempo de entrada y salida, en los dispositivos a lo largo de la ruta de transmisión. Alternativa o adicionalmente, se pueden determinar los retrasos de propagación entre el aparato adicional el cual tiene el reloj maestro y el aparato 10 electrónico y se pueden usar para la alineación del reloj.
- Alternativa o adicionalmente, el reloj local del aparato 10 electrónico se puede usar para determinar si se puede esperar que el(los) primer(os) mensaje(s) de sincronización o el(los) segundo(s) mensaje(s) de sincronización proporcionen una mejor sincronización. El módulo 24 de sincronización puede configurarse para determinar si se producen desfases de reloj más pequeños entre el reloj maestro y el reloj local a partir del(los) primer(os) mensaje(s) de sincronización o el(los) segundo(s) mensaje(s) de sincronización, y puede realizar la alineación del reloj con base al mismo.
- El aparato 10 electrónico puede incluir al menos un módulo 25 de aplicación adicional. El módulo 23 de redundancia se puede configurar para proporcionar datos recibidos en las primera y segunda interfaces 21, 22 de red al(los) módulo(s) 25 de aplicación adicional(es). El módulo 25 de sincronización puede configurarse para proporcionar información de tiempo (por ejemplo, un valor de reloj sincronizado) al(los) módulo(s) 25 de aplicación adicional(es).
- En el aparato 10 electrónico, el módulo 23 de redundancia coopera con el módulo 24 de sincronización de manera que el módulo 24 de sincronización puede diferenciar en qué puerto de Ethernet se recibieron los mensajes de sincronización. El módulo 24 de sincronización puede configurarse para invocar mensajes por puerto, como se ilustra mediante las dos conexiones separadas entre el módulo 24 de sincronización y el módulo 23 de redundancia. Esta configuración permite que el módulo 24 de sincronización determine el retraso de enlace individualmente para cada puerto con el método punto a punto definido en PTP. Combinando la información de corrección de reloj de los mensajes de sincronización recibidos en los diferentes puertos Ethernet en cada ciclo de sincronización, se puede reducir el efecto de las marcas de tiempo incorrectas, que implica el uso de un cuarzo como fuente de tiempo. Esto mejora la precisión de sincronización en promedio. La exactitud de la sincronización está influenciada por la precisión de la marca de tiempo de los dispositivos en la ruta en la cual se transmiten los mensajes de sincronización, como los conmutadores de reloj transparentes. La mayor parte de esta inexactitud añadida por dispositivo de enrutamiento es la precisión del reloj del método de marcado de tiempo utilizado. Las unidades de marcado de tiempo son frecuentemente accionadas por un cuarzo, lo que implica imprecisiones en cada marca de tiempo generada. Estos errores de marcado de tiempo son limitados pero impredecibles y son causados por la naturaleza de un cuarzo. Por ejemplo, la precisión de un cuarzo depende en gran medida de su temperatura y otras influencias ambientales. El aparato 10 electrónico puede mejorar la precisión incluso en presencia de tales errores de marcado de tiempo, combinando la información de sincronización recibida sobre al menos dos redes.
- La Figura 3 es un diagrama de flujo de un método 30 de una realización. El método 30 puede realizarse automáticamente usando un aparato electrónico de acuerdo con una realización. El método 30 puede realizarse para sincronizar el aparato electrónico con un reloj maestro. La sincronización se logra determinando un desfase de reloj entre el reloj maestro y el reloj local del aparato electrónico. El desfase del reloj se puede agregar al valor del reloj local para definir de ese modo un valor de reloj sincronizado.
- En la etapa 31, se puede seleccionar un reloj maestro. El algoritmo BMC se puede realizar para seleccionar el reloj maestro. Los primeros y segundos mensajes de sincronización pueden recibirse a partir del reloj maestro seleccionado y pueden procesarse en las etapas 32 a 35. El(los) primero(s) mensaje(s) de sincronización puede(n) transmitirse a través de una primera ruta de transmisión la cual es diferente de una segunda ruta de transmisión a lo largo de la cual se transmite(n) el(los) segundo(s) mensaje(s) de sincronización.
- En la etapa 32, se puede recibir al menos un primer mensaje de sincronización en una primera interfaz de red del aparato electrónico. En la etapa 33, se puede determinar un primer parámetro de corrección de reloj con base en al menos un primer mensaje de sincronización. El primer parámetro de corrección de reloj puede incluir o puede ser un primer desfase de reloj.
- En la etapa 34, se puede recibir al menos un segundo mensaje de sincronización en una segunda interfaz de red del aparato electrónico. En la etapa 35, se puede determinar un segundo parámetro de corrección de reloj con base en al menos un segundo mensaje de sincronización. El segundo parámetro de corrección de reloj puede incluir o puede ser un segundo desfase de reloj.
- En la etapa 36, el primer parámetro de corrección de reloj y el segundo parámetro de corrección de reloj se combinan entre sí. Para ilustración, un desfase de reloj puede calcularse como un promedio ponderado del primer desfase de reloj y el segundo desfase de reloj. Los factores de ponderación pueden determinarse con base en la información de temporización incluida en el primer y el segundo mensaje de sincronización. Al menos uno de los factores de ponderación puede determinarse con base en la información de temporización incluida en un primer mensaje de sincronización y la información de temporización incluida en un segundo mensaje de sincronización. La información

de temporización también se puede usar para determinar si el desfase del reloj se determinará como un promedio ponderado del primer y segundo desfase del reloj.

5 En la etapa 37, el desfase de reloj determinado se puede usar para alinear el reloj local del aparato electrónico con el reloj maestro. Por ejemplo, cuando una aplicación solicita información de tiempo, se puede proporcionar un valor de reloj sincronizado agregando el desfase de reloj al valor del reloj local del aparato electrónico. Las etapas 32-37 pueden repetirse en cada ciclo de sincronización.

10 Se pueden usar diversas técnicas para combinar el primer parámetro de corrección de reloj y los segundos parámetros de corrección de reloj. Las implementaciones a modo de ejemplo se describirán con más detalle con referencia de la Figura 4 a la Figura 7.

15 La Figura 4 ilustra primeros mensajes 40 de sincronización transmitidos a través de la primera red y segundos mensajes 50 de sincronización transmitidos a través de la segunda red. En el flujo de mensaje ilustrativo que se muestra en la Figura 4, un primer desfase 41 de reloj y un primer retraso 42 de propagación pueden determinarse con base al primer mensaje(s) 40 de sincronización, y un segundo desfase 51 de reloj y un segundo retraso 52 de propagación pueden determinarse con base en el segundo mensaje(s) 50 de sincronización. En la implementación ilustrada, el mensaje de sincronización, el mensaje de solicitud de retraso y el mensaje de respuesta de retraso definidos en PTP pueden transmitirse entre el aparato electrónico que funciona como PTP esclavo y el aparato adicional que funciona como PTP maestro.

20 El maestro puede transmitir un mensaje 43 de sincronización que incluye una marca t_{1A} de tiempo, la cual indica el valor del reloj maestro en el momento de transmisión del mensaje 43 de sincronización. Alternativamente, la marca t_{1A} de tiempo puede transmitirse en un mensaje de seguimiento separado definido en PTP. El aparato electrónico recibe el mensaje en un momento posterior, en el cual el reloj local del aparato electrónico tiene un valor t_{2A} . El valor t_{2A} depende tanto del desfase 41 del reloj entre el reloj maestro y el reloj local del aparato electrónico como del retraso 42 de propagación del mensaje 43 de sincronización para la propagación a partir del maestro al esclavo. El aparato electrónico que funciona como PTP esclavo puede transmitir un mensaje de solicitud de retraso en un momento posterior, en el cual el reloj local del aparato electrónico tiene un valor t_{3A} . Este mensaje de solicitud de retraso se recibe en el PTP maestro en un tiempo en el cual el reloj maestro tiene un valor t_{4A} . El valor t_{4A} se transmite al aparato electrónico el cual opera como esclavo en un mensaje 44 de repuesta de retraso.

25 El aparato electrónico puede determinar un primer desfase O_A de reloj y un primer retraso D_A de propagación con base al(los) primer(os) mensaje(s) de sincronización de acuerdo con:

35

$$O_A = [(t_{2A} - t_{1A}) - (t_{4A} - t_{3A})]/2 \quad y \quad (1)$$

$$D_A = [(t_{2A} - t_{1A}) + (t_{4A} - t_{3A})]/2. \quad (2)$$

40 De manera similar, un mensaje 53 de sincronización, un mensaje de solicitud de retraso y un mensaje 54 de respuesta de retraso pueden transmitirse a través de la segunda red. Los valores t_{1B} y t_{4B} de tiempo del reloj maestro tras la transmisión del mensaje 53 de sincronización y la recepción del mensaje 54 de respuesta de retraso, respectivamente, así como los valores t_{2B} y t_{3B} de tiempo del reloj local del aparato electrónico tras la recepción de la sincronización del mensaje 53 de sincronización y la transmisión del mensaje 54 de respuesta de retraso, respectivamente, pueden usarse para determinar el segundo desfase O_B de reloj y el segundo retraso D_B de propagación con base al(los) segundo(s) mensaje(s) de sincronización. Por ilustración,

45

$$O_B = [(t_{2B} - t_{1B}) - (t_{4B} - t_{3B})]/2 \quad y \quad (3)$$

50

$$D_B = [(t_{2B} - t_{1B}) + (t_{4B} - t_{3B})]/2. \quad (4)$$

El primer desfase O_A de reloj y el segundo desfase O_B de reloj pueden combinarse entre sí. Para ilustración, el desfase O de reloj puede determinarse de acuerdo con

55

$$O = (O_A + O_B)/2. \quad (6)$$

La información sobre la propagación de los mensajes de sincronización a través de la primera y la segunda red se puede usar para combinar el primer desfase O_A de reloj y el segundo desfase O_B de reloj. A modo ilustrativo, el desfase O de reloj puede determinarse como un promedio ponderado de acuerdo con

60

$$O = w_A \cdot O_A + w_B \cdot O_B. \quad (7)$$

Los factores de ponderación pueden definirse de manera que la relación w_A/w_B dependa de la relación de los retrasos D_A y D_B de propagación. Los factores de ponderación se pueden definir de manera que la relación w_A/w_B sea igual a la relación D_B/D_A . Los factores de ponderación se pueden definir de acuerdo con

$$5 \quad w_A = D_B/(D_A+D_B) \quad (8)$$

$$w_B = D_A/(D_A+D_B). \quad (9)$$

10 Los retrasos de propagación se pueden determinar de diversas maneras y no solo mediante el procedimiento que se ilustra en la Figura 4. Los retrasos de propagación se pueden determinar usando información de temporización la cual se escribe en los mensajes de sincronización por dispositivos a lo largo de la ruta de transmisión de los mensajes de sincronización. Alternativa o adicionalmente, se pueden usar otros criterios para determinar el desfase O de reloj como un promedio ponderado. Por ejemplo, los factores de ponderación pueden determinarse con base en la suma de tiempos de residencia de un primer mensaje de sincronización en dispositivos a lo largo de la ruta de transmisión del primer mensaje de sincronización en la primera red, y con base en la suma de tiempos de residencia de un segundo mensaje de sincronización en dispositivos a lo largo de la ruta de transmisión del segundo mensaje de sincronización en la segunda red. Los factores de ponderación pueden determinarse con base en un retraso de enlace en enlaces sobre los cuales se transmiten los primeros mensajes de sincronización a la primera interfaz de red y un retraso de enlace en enlaces a través de los cuales se transmiten los segundos mensajes de sincronización a la segunda interfaz de red. En otras realizaciones, se puede realizar un promedio del primer y segundo desfases de reloj que es independiente de los retrasos de propagación, para determinar el desfase O del reloj que se usa para la alineación del reloj. En otras realizaciones, se puede realizar un promedio de los primer y segundo desfases de reloj los cuales son independientes de los retrasos de propagación, pero en el cual los factores de ponderación se determinan con base en el primer desfase O_A de reloj y el segundo desfase O_B de reloj. Por ejemplo, el más pequeña de los dos desfases puede ponderarse más fuertemente. Uno del primer y del segundo desfases de reloj (por ejemplo, el más pequeño del primer y segundo desfases de reloj) se puede seleccionar como desfase de reloj para alineación de reloj, la selección depende tanto del primer desfase O_A de reloj como del segundo desfase O_B de reloj.

30 Una combinación de los primer y segundo desfases se realiza solo si las dos correcciones resultantes tienen signos diferentes. Por ejemplo, las correcciones se pueden combinar en cualquiera de las formas descritas solo si O_A es positivo y O_B es negativo (o viceversa). Si ambas correcciones tienen el mismo signo (tanto positivo como negativo), se debe preferir la corrección del primer paquete de sincronización recibido.

35 Las imprecisiones introducidas por los conmutadores de reloj transparentes dependen del tiempo de residencia dentro de estos dispositivos. Estos tiempos de residencia se pueden tener en cuenta al calcular el desfase del reloj. Por ejemplo, las técnicas para reducir el error de desfase pueden incluir uno o diversos de los siguientes: El aparato electrónico puede determinar si el(los) primer(os) mensaje(s) de sincronización transmitido(s) sobre la primera red o el(los) segundo(s) mensaje(s) de sincronización transmitido(s) sobre la segunda red tiene menor tiempo de residencia. La información del(los) mensaje(s) de sincronización para los cuales el tiempo de residencia es menor se puede ponderar más fuertemente. Cuando los tiempos de residencia cumplen un criterio predefinido, por ejemplo cuando uno de los tiempos de residencia es mucho más pequeño que el otro, la información de la ruta de transmisión de los mensajes de sincronización que tiene el menor tiempo de residencia acumulado se puede usar para determinar el desfase. La media de los primer y segundo desplazamientos de reloj de ambos mensajes se puede calcular y usar como un desfase de reloj. Se puede calcular una función de media ponderada que depende de la información de temporización del primer y segundo mensaje de sincronización para determinar el desfase del reloj.

45 Adicional o alternativamente, la diferencia entre el intervalo de recepción del mensaje de sincronización en el PTP esclavo, el cual puede calcularse con las marcas de tiempo de ingreso esclavo del primer y segundo mensajes de sincronización, y una estimación calculada con base en la información PTP transportada puede utilizarse para ajustar el desfase de reloj del reloj en el aparato electrónico que sirve como esclavo.

50 Adicional o alternativamente, el historial de los primero y segundo mensajes de sincronización puede usarse para estimar la calidad de la información de sincronización recibida actualmente y para ponderar en consecuencia la información de los mensajes de sincronización recibidos en una interfaz de red más fuerte que la información de sincronización mensajes recibidos en la otra interfaz de red.

55 La Figura 5 ilustra un sistema 60 el cual incluye un aparato 10 electrónico de acuerdo con una realización. El aparato 10 electrónico puede servir como un PTP esclavo. El sistema 60 puede ser un sistema de automatización de un sistema de energía eléctrica. El aparato 10 electrónico incluye un reloj 29 local. Un dispositivo 28 de procesamiento está configurado para determinar un desfase de reloj entre un reloj 63 maestro de un aparato 13 adicional y el reloj 29 local. El dispositivo 28 de procesamiento puede realizar las funciones del módulo de redundancia y módulo de sincronización explicadas con referencia a la Figura 2 a la Figura 4. El dispositivo 28 de procesamiento puede configurarse para determinar el desfase del reloj con base en los primeros mensajes de sincronización recibidos en

una primera interfaz 21 de red y los segundos mensajes de sincronización recibidos en una segunda interfaz 22 de red. La primera y la segunda interfaces de red pueden ser puertos Ethernet.

El aparato 13 adicional que actúa como PTP maestro tiene una primera interfaz 61 de red y una segunda interfaz 62 de red. El aparato 13 adicional emite primeros mensajes de sincronización en la primera interfaz 61 de red. Los primeros mensajes de sincronización se reciben en los dispositivos 71 y 72 a lo largo de una ruta de transmisión de los primeros mensajes de sincronización. Los dispositivos 71 y 72 pueden ser conmutadores de red. Los dispositivos 71, 72 pueden funcionar como relojes transparentes. Los dispositivos 71, 72 pueden agregar información de temporización a los primeros mensajes de sincronización. La información de temporización puede incluir marcas de tiempo de relojes locales de los dispositivos 71, 72, información sobre retrasos de enlace o información sobre tiempos de residencia. Los tiempos de residencia pueden indicar la diferencia de tiempo entre el ingreso y la salida de un mensaje de sincronización. El aparato 13 adicional emite segundos mensajes de sincronización en la segunda interfaz 62 de red. Los segundos mensajes de sincronización se reciben en los dispositivos 75-78 a lo largo de una ruta de transmisión del(los) segundo(s) mensaje(s) de sincronización. Los dispositivos 75-78 pueden ser conmutadores de red. Los dispositivos 75-78 pueden funcionar como relojes transparentes. Los dispositivos 75-78 pueden modificar el(los) segundo(s) mensaje(s) de sincronización, por ejemplo agregando información de temporización a los segundos mensajes de sincronización. La información de temporización puede incluir marcas de tiempo de relojes locales de los dispositivos 75-78, información sobre retrasos de enlace o información sobre tiempos de residencia las cuales pueden indicar la diferencia de tiempo entre el ingreso y la salida de un mensaje de sincronización.

La información de temporización que se incluye en un primer mensaje de sincronización recibido en la primera interfaz 21 de red del aparato 10 electrónico proporciona información sobre el historial de transmisión del primer mensaje de sincronización. De forma similar, la información de temporización que se incluye en un segundo mensaje de sincronización recibido en la segunda interfaz 22 de red del aparato 10 electrónico, proporciona información sobre el historial de transmisión del segundo mensaje de sincronización. La información de temporización puede procesarse para seleccionar un procedimiento para calcular el desfase del reloj. La información de temporización puede procesarse para determinar al menos uno de los siguientes parámetros de corrección de reloj para el primer y el segundo mensaje de sincronización: tiempo de residencia del mensaje de sincronización respectivo en uno de los dispositivos 71-78; tiempos de residencia acumulados del mensaje de sincronización respectivo en los dispositivos a lo largo de la ruta de transmisión; la diferencia entre un retraso de propagación determinado por la información de temporización en un mensaje de sincronización y el retraso de propagación real.

La Figura 6 muestra un diagrama para explicar un modo de funcionamiento de ejemplo del aparato 10 electrónico. Un primer mensaje de sincronización, por ejemplo un mensaje de sincronización PTP, se transmite a través de la primera red. El retraso de propagación real se muestra en 81. Con base en la información de temporización que se incluye en el primer mensaje de sincronización, puede determinarse una estimación 82 para el retraso de propagación. Una diferencia 83 entre la estimación 82 y el retraso 81 de propagación real puede ser causada por efectos de desfase de reloj acumulados e/o imprecisiones de marcado de tiempo de los dispositivos 71, 72 de enrutamiento de reloj transparentes, por los cuales pasa el primer mensaje de sincronización. De manera similar, un segundo mensaje de sincronización, por ejemplo un mensaje de sincronización PTP, se transmite a través de la segunda red. El retraso de propagación real se muestra en 86. Con base en la información de temporización que se incluye en el segundo mensaje de sincronización, puede determinarse una estimación 87 para el retraso de propagación. Una diferencia 88 entre la estimación 87 y el retraso 86 de propagación real puede ser causada por efectos de desfase de reloj acumulados e/o imprecisiones de marcado de tiempo de los dispositivos 75-78 de enrutamiento de reloj transparentes por los cuales pasa el segundo mensaje de sincronización. Las diferencias 83 y 88 pueden estimarse con base en la información de temporización incluida en el primer y el segundo mensaje de sincronización, respectivamente. A modo ilustrativo, la inexactitud que da lugar a la diferencia 83 o 88 entre el retraso de propagación real y el calculado puede depender del tiempo de residencia acumulado, que se conoce a partir de los mensajes de sincronización.

Como se visualiza en la Figura 6, el retraso 82, 87 de propagación calculado puede ser menor o mayor que el retraso 81, 86, de propagación real pero la diferencia 83, 88 está limitada. Al combinar la información de temporización de ambos mensajes de sincronización, es posible reducir el error global y, por lo tanto, aumentar la precisión del procedimiento de sincronización. Para ilustración, al combinar los errores 83, 88, por ejemplo promediando, es posible compensar partes del error de desfase sin el riesgo de empeorar el error. Esto sucede cuando las diferencias 83 y 88 calculadas (Δ_A y Δ_B) presentan signos diferentes.

La Figura 7 es un diagrama de flujo de un método 90 de otra realización. En el método 90, la información de temporización incluida en los primer y segundo mensajes de sincronización se evalúa para determinar si un desfase de reloj se calcula como promedio ponderado. El método 90 incluye las etapas 31-35 las cuales se pueden realizar de la misma manera que se describe con referencia a la Figura 3.

Adicionalmente, en la etapa 91, se evalúa la información de temporización del(los) primer(os) mensaje(s) de sincronización. La etapa 91 puede incluir definir el tiempo de residencia del primer mensaje de sincronización en los dispositivos a lo largo de la ruta de transmisión. La etapa 91 puede incluir procesar un historial de transmisión del primer mensaje de sincronización para determinar de ese modo un cuantificador para la fiabilidad de un primer parámetro de desfase de reloj determinado con base al primer mensaje de sincronización. En la etapa 92, se evalúa

5 la información de temporización del(los) segundo(s) mensaje(s) de sincronización. La etapa 92 puede incluir definir el tiempo de residencia del segundo mensaje de sincronización en los dispositivos a lo largo de la ruta de transmisión. La etapa 92 puede incluir procesar un historial de transmisión del primer mensaje de sincronización para determinar de ese modo un cuantificador para la fiabilidad de un segundo parámetro de desfase de reloj determinado con base al segundo mensaje de sincronización. Los cuantificadores para la fiabilidad pueden incluir un inverso del tiempo de propagación total o un inverso de los tiempos de residencia acumulados.

10 En la etapa 93, se selecciona un procedimiento para determinar el desfase del reloj. La etapa 93 incluye determinar si se debe promediar un primer desfase de reloj determinado con base al primer mensaje de sincronización y un segundo desfase de reloj determinado con base al segundo mensaje de sincronización. La etapa 93 puede realizarse con base en los tiempos de residencia del primer mensaje de sincronización en dispositivos a lo largo de una ruta de transmisión del primer mensaje de sincronización y en función de los tiempos de residencia del segundo mensaje de sincronización en dispositivos a lo largo de una ruta de transmisión del segundo mensaje de sincronización. La etapa 93 puede incluir determinar si las diferencias 83, 88 entre el retraso de propagación calculado y real tienen signos iguales o signos diferentes.

15 Si se determina que el desfase del reloj debe calcularse promediando el primer desfase del reloj y el segundo desfase del reloj, el método pasa a la etapa 94. En la etapa 94, se puede realizar un promedio, como se explicó con referencia a la Ecuación (7) Los factores de ponderación en la Ecuación (7) pueden definirse con base en la información de temporización incluida en el primer y el segundo mensaje de sincronización.

20 Si se determina que no debe realizarse promediado del primer y segundo parámetros de desfase de reloj, el método prosigue a la etapa 95. En la etapa 95, el desfase de reloj puede configurarse para ser igual a uno del primer desfase de reloj o el segundo desfase de reloj. Por ejemplo, si la evaluación de la información de temporización incluida en los primer y segundo mensajes de sincronización en las etapas 91 y 92 indica que las imprecisiones de marca de tiempo y las desviaciones de reloj del primer mensaje de sincronización son menores que para el segundo mensaje de sincronización, el desfase de reloj puede ser igual al primer desfase de reloj que se determina con base al primer mensaje de sincronización. Si la evaluación de la información de temporización incluida en el primer y segundo mensaje de sincronización en las etapas 91 y 92 indica que las imprecisiones de marca de tiempo y las desviaciones de reloj del segundo mensaje de sincronización son menores que para el primer mensaje de sincronización, el desfase de reloj puede ser igual al segundo desfase de reloj que se determina con base al segundo mensaje de sincronización.

25 El desfase de reloj determinado en la etapa 94 o la etapa 95 se puede usar para alinear el reloj local del aparato electrónico con el reloj maestro en la etapa 37. Las etapas 32-35, 91-95 y 37 se pueden repetir en cada ciclo de sincronización.

30 A la vez que los métodos, aparatos electrónicos y sistemas de acuerdo con las realizaciones se han descrito con referencia a los dibujos, las modificaciones se pueden implementar en otras realizaciones. A modo de ilustración, aunque algunas realizaciones se han descrito en el contexto de mensajes PTP específicos, las realizaciones también se pueden usar en combinación con otros mensajes de sincronización. Si bien pueden utilizarse A la vez que se implementan la primera y segunda redes de comunicación como redes con base en Ethernet, también se pueden usar otras tecnologías de red para proporcionar canales de comunicación redundantes entre un reloj maestro y un aparato esclavo.

35 45 Las realizaciones pueden usarse en general para procedimientos de sincronización. La sincronización de dispositivos electrónicos inteligentes (IEDs) para probar o monitorizar sistemas de energía eléctrica y sistemas de automatización industrial son áreas de ejemplo en las cuales pueden usarse realizaciones, pero las realizaciones no están limitadas a ellas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para sincronizar un reloj de un aparato (10) electrónico con un reloj (63) maestro, comprendiendo el método las siguientes etapas realizadas por el aparato (10) electrónico:
- 5 recibir, en una primera interfaz (21) de red del aparato (10) electrónico, al menos un primer mensaje (43, 44) de sincronización transmitido a partir de un aparato (13) adicional a través de una primera red (11),
- 10 recibir, en una segunda interfaz (22) de red del aparato (10) electrónico, al menos un segundo mensaje (53, 54) de sincronización transmitido a partir del aparato (13) adicional por una segunda red (12) diferente de la primera red (11)
- 15 determinar un primer parámetro (41; 83) de corrección de reloj a partir de al menos un primer mensaje (43, 44) de sincronización y determinar un segundo parámetro (51; 88) de corrección de reloj a partir de al menos un segundo mensaje (53, 54) de sincronización, y
- 20 alinear el reloj del aparato (10) electrónico con el reloj (63) maestro, en donde tanto el primer parámetro (41; 83) de corrección del reloj como el segundo parámetro (51; 88) de corrección del reloj se usan para la alineación,
- caracterizado por
- 25 determinar si los primero y segundo parámetros (41, 51; 83, 88) de corrección de reloj tienen signos diferentes; en donde, cuando los primero y segundo parámetros (41, 51; 83, 88) de corrección de reloj tienen signos diferentes, se realiza un promedio del primer parámetro (41; 83) de corrección de reloj y el segundo parámetro (51; 88) de corrección de reloj para realizar la alineación, y
- 30 en donde, cuando los primero y segundo parámetros (41, 51; 83, 88) de corrección de reloj tienen signos iguales, un parámetro de corrección de reloj se define igual a uno del primer parámetro de corrección de reloj o del segundo parámetro de corrección de reloj.
2. El método de la reivindicación 1, en donde el aparato comprende un módulo (23) de redundancia y un módulo (24) de sincronización, estando el módulo (23) de redundancia en interfaz con las primera y segunda (21, 22) interfaces de red, estando el módulo (24) de sincronización en interfaz con el módulo (23) de redundancia y configurado para operar de acuerdo con el protocolo de tiempo de precisión, PTP, el método comprende:
- 35 recibir el al menos un primer mensaje (43, 44) de sincronización y el al menos un segundo mensaje (53, 54) de sincronización mediante el módulo (23) de redundancia,
- 40 proporcionar al menos un primer mensaje (43, 44) de sincronización con un primer identificador de red a partir del módulo (23) de redundancia al módulo (24) de sincronización, y
- 45 proporcionar el al menos un segundo mensaje (53, 54) de sincronización con un segundo identificador de red a partir del módulo (23) de redundancia al módulo (24) de sincronización.
3. El método de la reivindicación 2,
- 50 en donde el módulo (24) de sincronización realiza las etapas de determinación y alineación.
4. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores,
- 55 en donde el promedio se realiza con base en un primer retraso de propagación del al menos un primer mensaje (43, 44) de sincronización y un segundo retraso de propagación del al menos un segundo mensaje (53, 54) de sincronización.
5. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores,
- 60 En donde el promedio comprende: determinar un parámetro de corrección de reloj como un promedio ponderado del primer parámetro (41; 83) de corrección de reloj y del segundo parámetro (51; 88) de corrección de reloj.
6. El método de la reivindicación 5,
- 65 en donde la media ponderada se determina ponderando el primer parámetro (41; 83) de corrección de reloj con un primer factor de ponderación y ponderando el segundo parámetro (51; 88) de corrección de reloj con un segundo factor de ponderación.
7. El método de la reivindicación 6,

en donde una relación del primer factor de ponderación para el segundo factor de ponderación es proporcional a una relación de un segundo retraso de propagación del al menos un segundo mensaje (53, 54) de sincronización a un primer retraso de propagación del al menos un primer mensaje (43, 44) de sincronización.

5 8. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores,

En donde, cuando los primero y segundo parámetros (41, 51; 83, 88) de corrección de reloj tienen signos iguales, el parámetro de corrección de reloj se define igual al primer parámetro de corrección de reloj si el tiempo de transmisión del primer mensaje de sincronización es más corto que un tiempo de transmisión del segundo mensaje de sincronización y se define igual al segundo parámetro de corrección de reloj si un tiempo de transmisión del segundo mensaje de sincronización es más corto que un tiempo de transmisión del primer mensaje de sincronización.

9. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores,

15 en donde el promedio se realiza dependiendo de la información de temporización incluida en al menos un primer mensaje (43, 44) de sincronización por los primeros dispositivos (71, 72) de red a lo largo de una ruta de transmisión del al menos un primer mensaje (43, 44) de sincronización, y en dependencia de la información de temporización incluida en el al menos un segundo mensaje (53, 54) de sincronización por segundos dispositivos (75-78) de red a lo largo de una ruta de transmisión del al menos un segundo mensaje (53, 54) de sincronización.

20 10. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores,

en donde el al menos un primer mensaje (43, 44) de sincronización y el al menos un segundo mensaje (53, 54) de sincronización son mensajes de acuerdo con el protocolo de tiempo de precisión, PTP.

25 11. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores,

en donde el aparato es un dispositivo electrónico inteligente, IED, de un sistema de automatización de un sistema de energía eléctrica.

30 12. Un aparato electrónico, que comprende:

35 una primera interfaz (21) de red configurada para recibir al menos un primer mensaje (43, 44) de sincronización transmitido a partir de un aparato (13) adicional a través de una primera red (11),

una segunda interfaz (22) de red configurada para recibir al menos un segundo mensaje (53, 54) de sincronización transmitido a partir del aparato (13) adicional por una segunda red (12),

40 un dispositivo (23, 24; 28) de procesamiento configurado para determinar un primer parámetro (41; 83) de corrección de reloj a partir del al menos un primer mensaje (43, 44) de sincronización y para determinar un segundo parámetro (51; 88) de corrección de reloj del al menos un segundo mensaje (53, 54) de sincronización, y para alinear un reloj del aparato (10) electrónico con un reloj (63) maestro utilizando tanto el primer parámetro (41; 83) de corrección de reloj como el segundo parámetro (51; 88) de corrección de reloj,

45 caracterizado porque

el dispositivo (23, 24; 28) de procesamiento está configurado para determinar si los primero y segundo parámetros (41, 51; 83, 88) de corrección de reloj tienen signos diferentes; y

50 el dispositivo (23, 24; 28) de procesamiento está configurado para

cuando los primero y segundo parámetros (41, 51; 83, 88) de corrección de reloj tienen signos diferentes, promedie el primer parámetro (41; 83) de corrección de reloj y el segundo parámetro (51; 88) de corrección de reloj para alinear el reloj del aparato (10) electrónico con el reloj (63) maestro, y

55 cuando los primero y segundo parámetros (41, 51; 83, 88) de corrección de reloj tienen signos iguales, defina un parámetro de corrección de reloj igual a uno del primer parámetro de corrección de reloj o el segundo parámetro de corrección de reloj.

60 13. El aparato electrónico de la reivindicación 12, en donde el dispositivo (23, 24, 28) de procesamiento comprende:

un módulo (23) de redundancia en interfaz con las primera y segunda interfaces de red (21, 22), y

65 un módulo (24) de sincronización en interfaz con el módulo (23) de redundancia y configurado para determinar el primer y segundo parámetros (51; 88) de corrección de reloj y para alinear el reloj del aparato (10) electrónico con el

reloj (63) maestro como una función tanto del primer parámetro de corrección como del segundo parámetro de corrección.

5 14. Un sistema de energía eléctrica que tiene un sistema de automatización, el sistema de automatización que comprende:

el aparato (10) electrónico de la reivindicación 12 o la reivindicación 13, y

10 un aparato (13) adicional que comprende un reloj (63) maestro acoplado al aparato (10) electrónico por una primera red (11) y una segunda red (12).

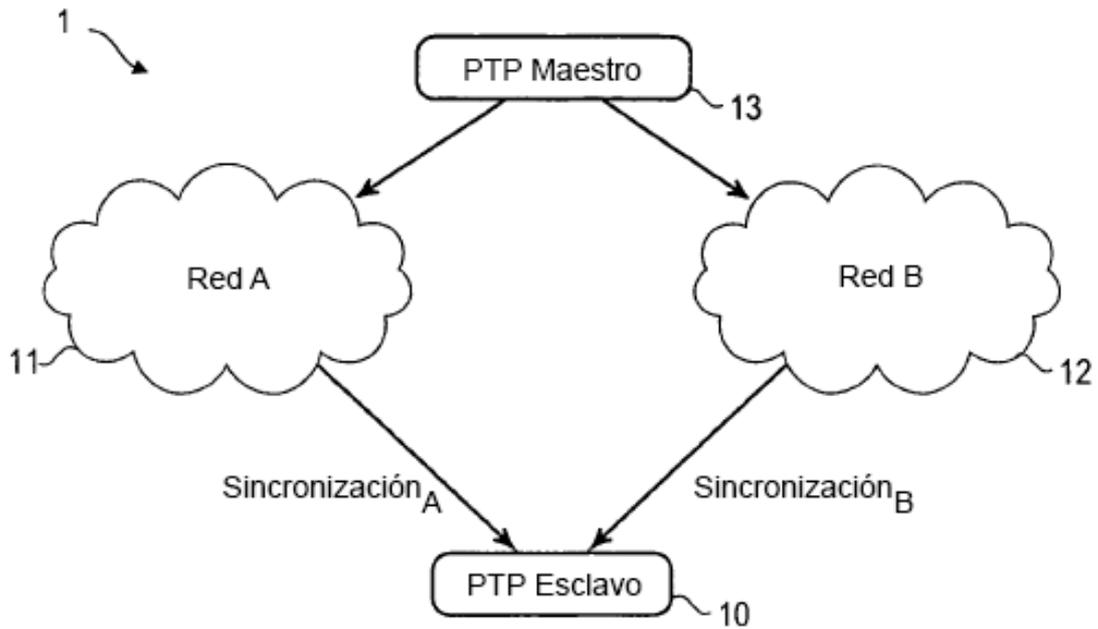


FIG. 1

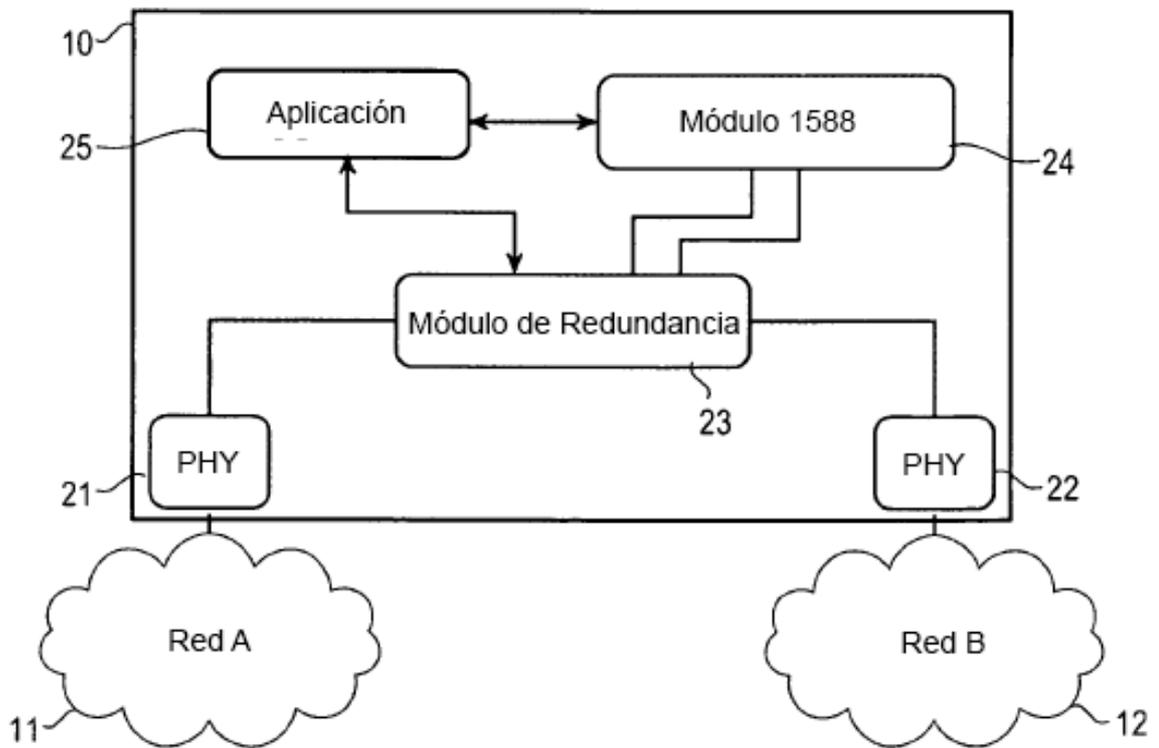


FIG. 2

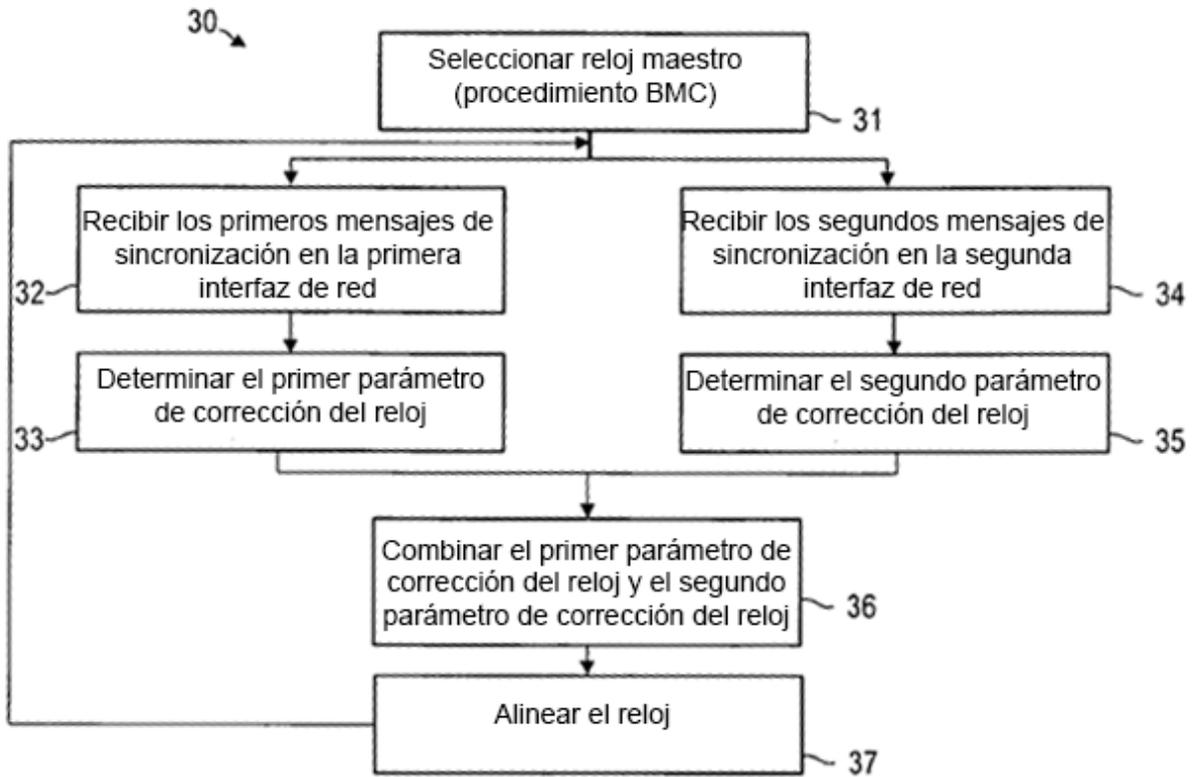


FIG. 3

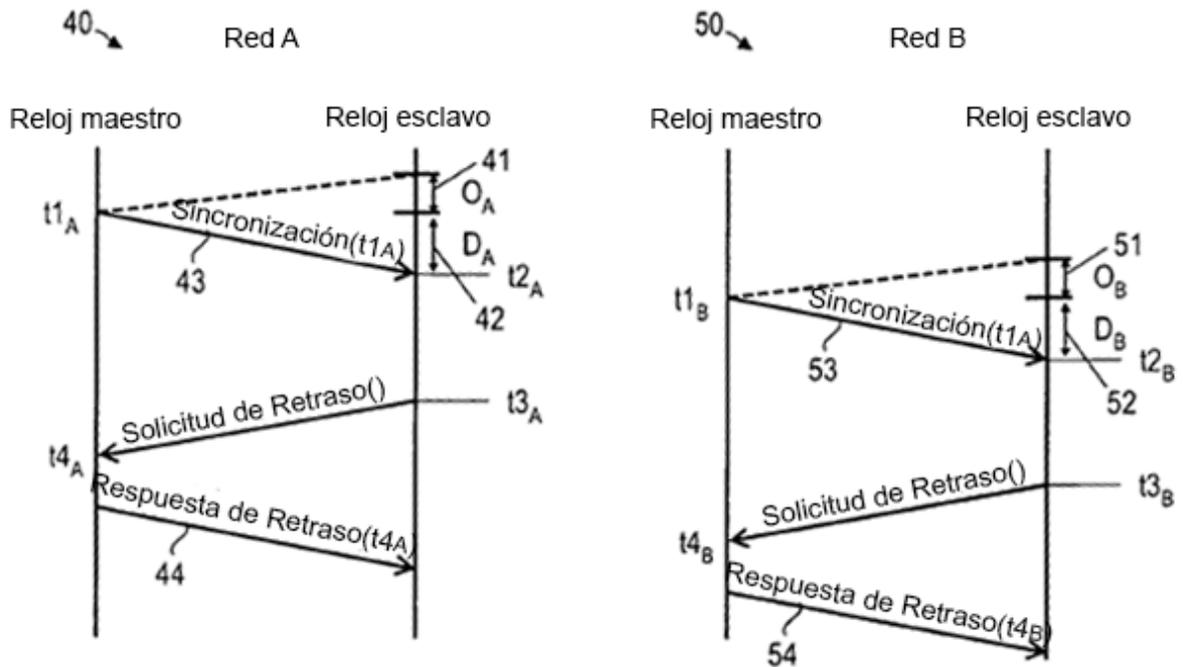


FIG. 4

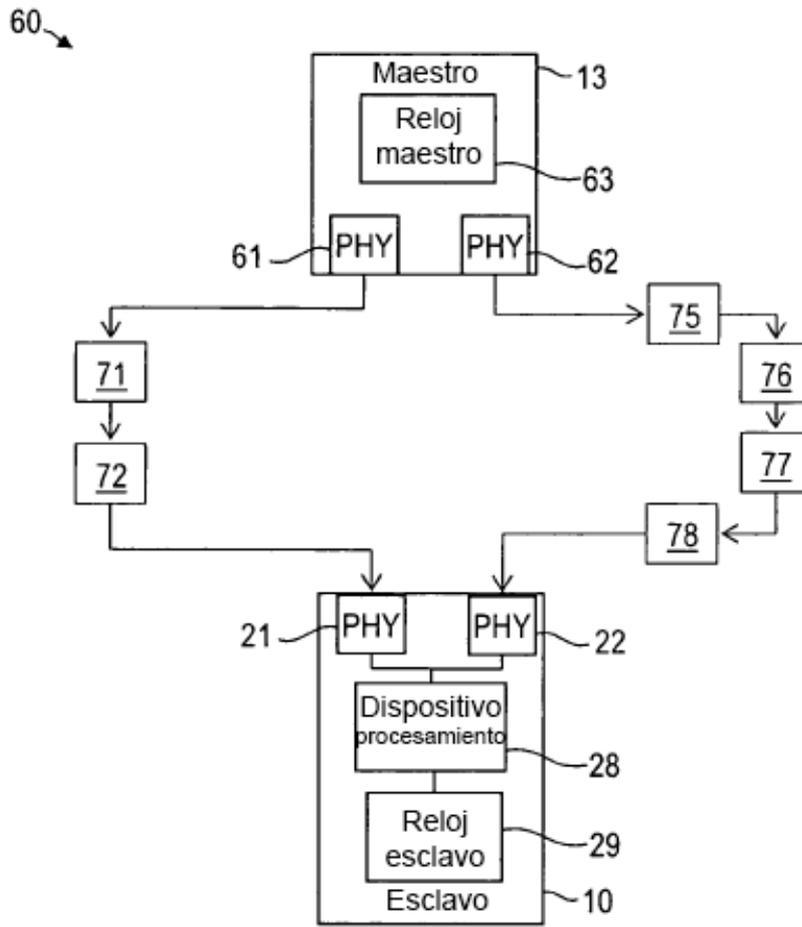


FIG. 5

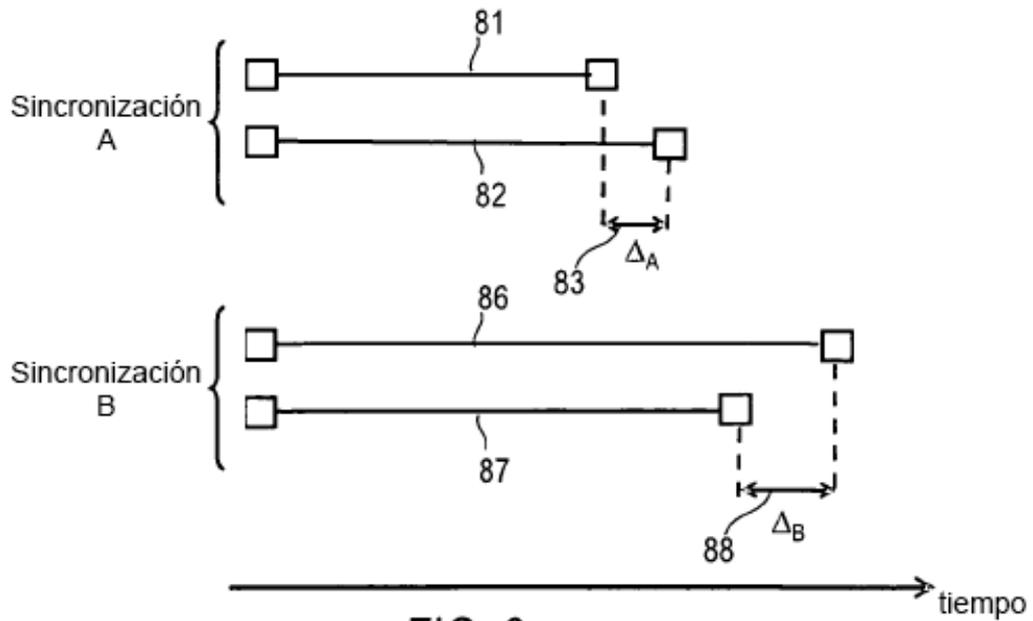


FIG. 6

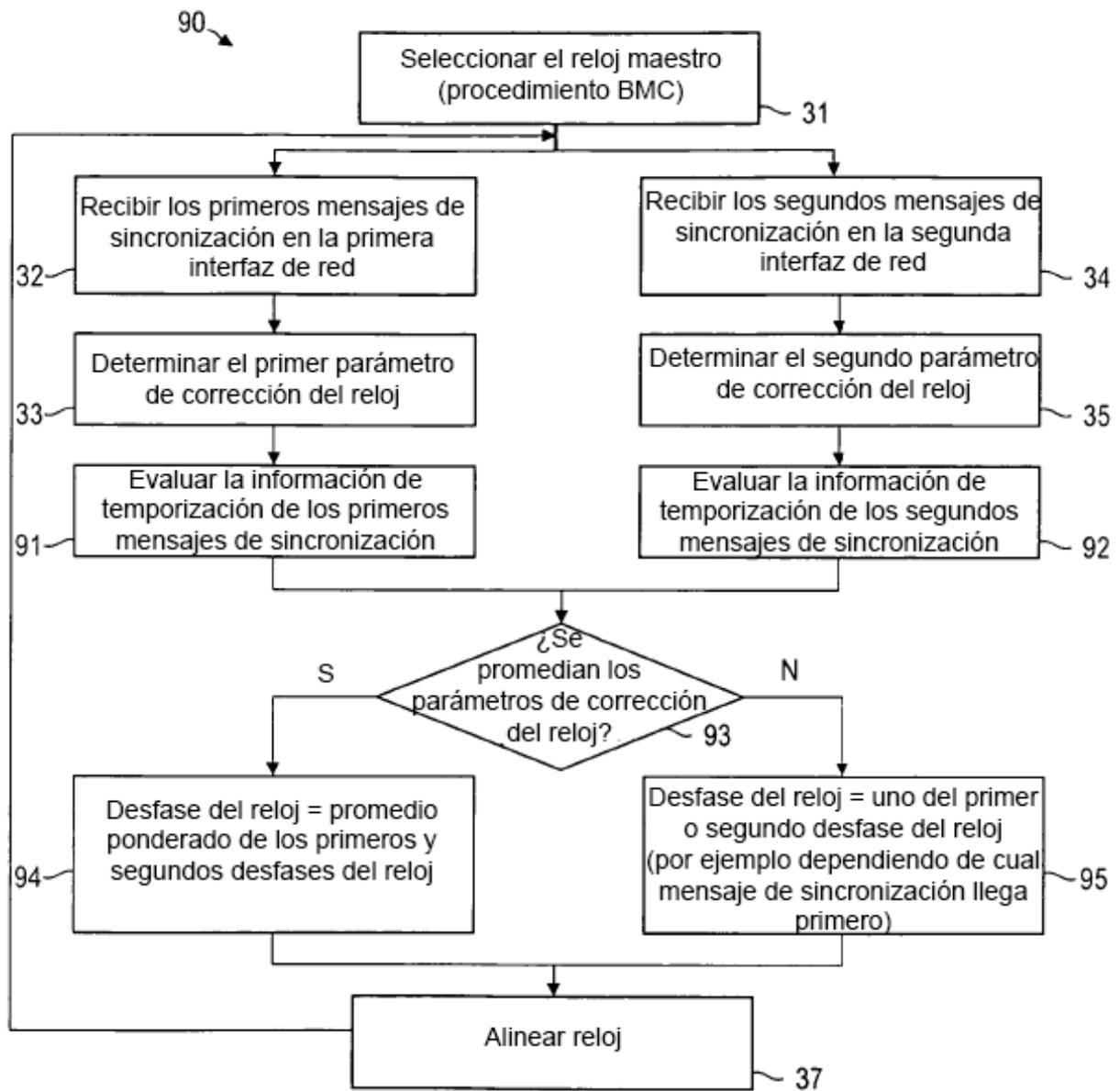


FIG. 7