

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 423 555**

51 Int. Cl.:

H02H 7/26 (2006.01)

H02J 13/00 (2006.01)

G06F 15/167 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.01.2009 E 09150130 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.07.2013 EP 2207252**

54 Título: **Dispositivo y sistema de automatización de subestación**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.09.2013

73 Titular/es:

**ABB RESEARCH LTD. (100.0%)
AFFOLTERNSTRASSE 44
8050 ZÜRICH, CH**

72 Inventor/es:

**KUNSMANN, STEVEN A.;
TOURNIER, JEAN-CHARLES y
WERNER, THOMAS**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 423 555 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

Dispositivo y sistema de automatización de subestación

5 **Campo de la invención**

La invención se refiere al campo de la automatización de subestación para subestaciones de redes de transmisión de potencia de voltaje alto o medio.

10 **Antecedentes de la invención**

Las subestaciones en redes de potencia de voltaje alto y medio incluyen dispositivos primarios tales como cables eléctricos, líneas, barras bus, conmutadores, transformadores de potencia y transformadores de instrumento, que por lo general están dispuestos en centros y/o compartimientos de conmutación. Estos dispositivos primarios operan de forma automatizada mediante un sistema de automatización de subestación (SA). El sistema SA incluye dispositivos secundarios, entre los que los dispositivos electrónicos inteligentes (IED) son responsables de la protección, el control y la supervisión de los dispositivos primarios. Los dispositivos secundarios pueden ser asignados a niveles jerárquicos, es decir, el nivel de estación, el nivel de compartimiento, y el nivel de proceso, estando separado éste último del nivel de compartimiento por la denominada interfaz de proceso. Los IEDs en el nivel de estación del sistema SA comparten, al menos en cierta medida, la misma configuración y/o información acerca de la subestación, e incluyen

25 i) un PC de estación u ordenador de supervisión en el que se ejecuta software de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA), e incluyendo una estación de trabajo de operador (OWS) con una interfaz horme-máquina local (HMI) para presentar el estado del equipo primario (posición de conmutación, corriente/voltajes),

ii) una puerta de enlace para comunicación con un centro de control de red (NCC) u otras estaciones, y para convertir información de protocolo;

30 iii) un PC de ingeniería incluyendo una estación de trabajo de operador para modificar o actualizar la configuración del PC de estación, específicamente de los sistemas HMI y SCADA;

iv) un cortafuegos – que separa el bus de estación de otras redes, tal como la red corporativa.

35 Las tareas, los procesos o las funciones a nivel de estación antes enumerados se ejecutan en dispositivos dedicados (puertas de enlace, cortafuegos), o en PCs industriales (HMI local, PC de ingeniería). Los IEDs a nivel de estación están conectados a un bus de estación que cumple convencionalmente la finalidad de intercambiar órdenes e información de estado entre IEDs al nivel de estación y las unidades de compartimiento o IEDs de protección y/o control a nivel de compartimiento. Finalmente, los dispositivos secundarios a nivel de proceso incluyen sensores para mediciones de voltaje (VT), corriente (CT) y densidad de gas, sondas de contacto para detectar las posiciones de cambio de conmutador y toma de transformador, y/o accionadores (E/S) para cambiar posiciones de toma de transformador, o para controlar conmutadores como disyuntores de circuito o desconectores.

45 Un estándar de comunicaciones para comunicación entre los dispositivos secundarios de una subestación ha sido introducido por el Comité Electrotécnico Internacional (IEC) como parte del estándar IEC 61850 titulado “redes y sistemas de comunicación en subestaciones”. Para mensajes de tiempo no crítico, IEC 61850-8-1 especifica el protocolo de la especificación de mensajes de fabricación (MMS, ISO/IEC 9506) en base a una pila de protocolos reducida de interconexión de sistemas abiertos (OSI) construida sobre el Protocolo de Control de Transmisión (TCP) y el protocolo de Internet (IP) en la capa de transporte y red, respectivamente, y sobre Ethernet y/o RS-232C como medios físicos. Para mensajes basados en eventos de tiempo crítico, IEC 61850-8-1 especifica los eventos de subestación orientados a objetos genéricos (GOOSE) directamente en la capa de enlace de Ethernet de la pila de comunicación. Para señales que cambian periódicamente muy rápidamente al nivel de proceso, tal como voltajes o corrientes analógicos medidos, IEC 61850-9-2 especifica el servicio de Valor Muestreado (SV), que, de forma análoga a GOOSE, se construye directamente sobre la capa de enlace de Ethernet. Por lo tanto, el estándar define un formato para publicar, como mensajes multidifusión en un Ethernet industrial, mensajes basados en eventos y datos de medición digitalizados procedentes de sensores de corriente o voltaje al nivel de proceso como un suceso a cableado de cobre tradicional.

60 Consiguientemente, SV u otros datos de proceso pueden ser transmitidos por un bus de proceso entre compartimientos, poniendo la información transmitida a disposición de compartimientos contiguos. Para instalaciones de costo razonable tal como en subestaciones de voltaje medio o bajo, el bus de proceso entre compartimientos y el bus de estación pueden estar unidos en una sola red de comunicaciones. Suponiendo que la información necesaria para ejecutar funcionalidad de protección y control sea compartida a través de un bus, los conceptos emergentes de “subestación digital” abren nuevas posibilidades de protección y control centralizados. Por ejemplo, dispositivos análogos a PC a nivel de estación no solamente servirían como una puerta de enlace o consola HMI, sino que también alojarían funcionalidad de seguridad para los dispositivos IED de compartimiento, o ejecutarían esquemas

de protección a escala de estación tal como protección de barra bus.

La patente US 6.550.020 reivindica un sistema de procesamiento de datos con al menos un circuito integrado CI conteniendo una unidad central de proceso que incluye al menos núcleos de procesamiento primero y segundo. Cada uno de los núcleos de procesamiento incluye un conjunto completo de los componentes utilizados por una CPU mononúcleo convencional para tomar, descodificar y ejecutar instrucciones y transferir información a y de otras partes del sistema de procesamiento de datos tal como un almacenamiento global de datos o memoria compartida. El CI también incluye facilidades de entrada que reciben entrada de control que especifica cuál de los núcleos de procesamiento ha de ser utilizado, por ejemplo para utilizar el segundo núcleo como un primer núcleo de procesamiento virtual al determinar que el primer núcleo está inactivo o defectuoso. A este extremo, el CI incluye lógica de configuración que descodifica dinámicamente la entrada de control y, en respuesta, controla selectivamente la recepción de señales de entrada y la transmisión de señales de salida de uno o más núcleos de los núcleos de procesamiento según la entrada de control.

En tecnología informática avanzada, una capa de virtualización dispuesta entre el hardware físico de un sistema de cálculo y uno o más sistemas operativos huéspedes que se ejecutan en dicho hardware soporta distintos entornos de ejecución, o máquinas virtuales VM, a las que son asignados los sistemas operativos huéspedes. Los sistemas huéspedes son independientes uno de otro, es decir no conocen la existencia de los otros sistemas huéspedes. Para ello, la capa de virtualización virtualiza, o divide, todos los recursos de hardware físicamente disponibles requeridos por los sistemas huéspedes, por ejemplo CPU, dispositivos de memoria de almacenamiento, dispositivos de E/S tales como tarjetas de red o adaptadores, impresoras, pantallas. Un solo sistema operativo huésped corre o se ejecuta en cada máquina virtual, y, a su vez, una o más aplicaciones se ejecutan en el sistema operativo huésped y se comportan como si se estuviesen ejecutando en su propio ordenador real dedicado.

La patente US 7.299.468 describe una gestión automática de recursos para un sistema operativo de máquina virtual incluyendo una multiplicidad de máquinas virtuales a las que se les asigna una cantidad finita de recursos, tal como memoria virtual privada, CPU real e E/S real. La patente satisface necesidades dependientes de tiempo o de aplicación para cada uno de los recursos asignados. Por ejemplo, durante algunos períodos, la máquina virtual puede estar ejecutando aplicaciones que requieran complejos cálculos aritméticos que hacen un uso intensivo de la CPU y durante otros períodos la máquina virtual puede estar ejecutando aplicaciones, tal como aplicaciones de copia de seguridad de datos que apenas usan la CPU. Por lo tanto, si una máquina virtual precisa recursos adicionales, la máquina virtual es clonada automáticamente. Al clon se le asigna una parte de los recursos tomados de las partes de otras máquinas virtuales, de tal manera que la parte resultante asignada a una máquina virtual y el clon sean conjuntamente más grandes que la parte asignada a la máquina virtual antes de que la máquina virtual se clonase.

El artículo "A new-style centralized IED based on IEC 61850" de Yi y colaboradores, Power and Energy Society General Meeting – conversion and delivery of electrical energy in the 21st century, IEEE, 20 Julio 2008, páginas 1-5, describe un nuevo IED centralizado (NCIED) conforme a los estándares IEC 61850. Cada NCIED es considerado como un dispositivo lógico dispuesto a nivel de compartimiento y que realiza funciones de subestación tales como protección, control, supervisión (o monitorización) y registro.

La Solicitud de Patente de Estados Unidos 2002/052914 describe múltiples casos de sistemas operativos que funcionan de forma cooperante en un solo ordenador multiprocesador (virtualización), y una asignación dinámica de recursos de hardware.

Descripción de la invención

Un objetivo de la invención es simplificar una estructura de un sistema de automatización de subestación (SA), reducir el número de dispositivos SA independientes, y ahorrar costos generales de sistema relacionados con el hardware, la ingeniería y el mantenimiento. Estos objetivos se logran con un dispositivo SA y un sistema SA según las reivindicaciones 1 y 7. Otras realizaciones preferidas son evidentes por las reivindicaciones de patente dependientes.

Según la invención, las funcionalidades o tareas a nivel de sistema SA separadas, que convencionalmente son realizadas por una multitud de distintos dispositivos a nivel de estación, son realizadas por un solo dispositivo SA incluyendo una pluralidad de unidades de procesamiento (PU) en una sola placa de circuitos como hardware de procesamiento principal. Por medio de técnicas de virtualización que soportan múltiples ejemplos de sistemas operativos (OS) en la pluralidad de PUs, se crean entornos de ejecución distintos y mutuamente aislados. Cada uno de estos entornos de ejecución aloja una sola funcionalidad de una funcionalidad de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA), una funcionalidad de puerta de enlace, una funcionalidad de lugar de trabajo de ingeniería y una funcionalidad de cortafuegos.

Preferiblemente, la pluralidad de PUs es una pluralidad de distintas unidades centrales de procesamiento (CPUs), o chips físicos, montados en la misma placa de circuitos, o una pluralidad de núcleos de procesamiento de una sola CPU multinúcleo que comparten la misma memoria de acceso aleatorio (RAM), o su combinación.

El dispositivo SA incluye recursos de hardware o componentes compartidos, en concreto memoria volátil tal como RAM, dispositivos de entrada/salida (E/S) tal como unidades de disco duro HDD, interfaces de comunicación para conexión a impresoras y pantallas, e interfaces de red para conexión a un bus de estación SA. Las técnicas de virtualización evitan, a pesar de los recursos compartidos, la influencia mutua entre los entornos de ejecución soportando así la combinación de dichas funciones a nivel de estación. Cada entorno de ejecución, también llamado máquina virtual (VM), ejecuta un OS huésped que, a su vez, puede soportar multiprocesado simétrico (SMP), es decir, el OS huésped puede manejar varios de los núcleos de procesado.

Según una realización ventajosa, cada entorno de ejecución ejecuta el mismo OS huésped que el dispositivo a nivel de estación dedicado que realizaba convencionalmente la única funcionalidad que se combina con el dispositivo SA. Por ejemplo, SCADA se ejecuta bajo "Windows embebido", la funcionalidad de puerta de enlace bajo "VxWorks", y las tareas de ingeniería bajo "Windows". No se precisan modificaciones o adaptaciones de la instalación de la aplicación original antes de realizar la funcionalidad combinada por el dispositivo SA.

En una variante preferida de la invención, incluso la funcionalidad de protección y/o control, para esquemas centralizados a escala de estación o en nombre de un compartimiento de subestación individual, también es soportada por uno de los entornos de ejecución. Esta preparación logra funcionalidad de reserva en nombre de dispositivos electrónicos inteligentes (IEDs) de protección y control dedicados, o unidades de compartimiento, sin añadir hardware; el único prerrequisito es que las mediciones y las órdenes de control estén disponibles para el dispositivo SA mediante el bus de estación/proceso. En este caso, la información de configuración de subestación puede ser compartida ventajosamente entre las diferentes aplicaciones de protección y control. La funcionalidad de protección y control puede ser ejecutada dentro de uno o varios entornos de ejecución dedicados, como un proceso en un núcleo, como dos procesos separados; o con cada función de protección asignada a un núcleo dedicado. Esto último corresponde a un nivel de granularidad en la asignación, o el aislamiento, de procesos o funciones en núcleos de procesado separados sin precedente.

En otra variante preferida, el dispositivo SA está adaptado para ser usado en sistemas SA con redes de comunicaciones separadas para aplicaciones de bus de proceso y estación. Esto se puede realizar dado el hecho de que SCADA, ingeniería y las aplicaciones de puerta de enlace están asignadas directamente a la Tarjeta de Interfaz de Red de Bus de Estación correspondiente (NIC), mientras que las funciones de protección y control utilizan adicionalmente la NIC de bus de proceso con el fin de recibir y enviar mensajes de y al bus de proceso.

En una realización ventajosa de la invención, se logran varios niveles de redundancia mediante la duplicación, o incluso la triplicación, de todo el dispositivo SA incluyendo todos los recursos compartidos, o de componentes críticos del sistema. Esto último incluye al menos el suministro y almacenamiento de potencia, cuya duplicación incrementa la fiabilidad a nivel de dispositivo SA. Por otra parte, desde una perspectiva de estación general, el dispositivo SA propiamente dicho se puede instalar en una instalación redundante, suponiendo mecanismos de redundancia o conmutación apropiados tales como espera caliente (OWS, puerta de enlace, control) o hot-hot (protección) entre los dispositivos SA redundantes. Alternativamente, la fiabilidad se puede incrementar por medio de redundancia de software, instanciándose cada una de las funcionalidades varias veces en el mismo dispositivo SA en entornos de ejecución separados, o por redundancia de hardware y software combinados. Además, las funcionalidades sin redundancia hoy día, tal como una interfaz hombre-máquina (HMI), pueden ser duplicadas sin costo adicional.

La maduración del estándar IEC 61850 permite conceptos arquitectónicos innovadores en automatización de subestación, y se puede lograr una operación segura de compartimientos de subestación con diferentes instalaciones de hardware. Con el fin de compensar una posible disminución de la fiabilidad debido al mayor número de componentes y dispositivos, se propone aquí la integración de funcionalidad en menos dispositivos, pero con la posibilidad de funcionalidad selectiva o redundancia de hardware.

Breve descripción de los dibujos

La materia de la invención se explicará con más detalle en el texto siguiente con referencia a realizaciones ejemplares preferidas que se ilustran en los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 representa esquemáticamente una subestación de la técnica anterior.

La figura 2 es una arquitectura de un dispositivo SA con múltiples unidades de procesado.

Y la figura 3 ilustra un extracto de una subestación con un dispositivo SA anterior.

Los símbolos de referencia usados en los dibujos, y sus significados, se enumeran en forma de resumen en la lista de símbolos de referencia. En principio, las partes idénticas llevan los mismos símbolos de referencia en las figuras.

Descripción detallada de realizaciones preferidas

La figura 1 representa un extracto de una instalación de automatización de subestación (SA) de la técnica anterior

desde la perspectiva de la infraestructura de comunicación y la funcionalidad instalada. Cada una de las funcionalidades a nivel de estación se aloja en un dispositivo informático separado y dedicado: Estación de trabajo de supervisión, o estación PC, con funcionalidad SCADA y una HMI 1, PC de ingeniería 2, dispositivo de puerta de enlace 3, cortafuegos 4, y ordenador de estación opcional o IED 5 para ejecutar la funcionalidad de protección y control. Todos los dispositivos están conectados, mediante conmutadores apropiados, a un bus de estación a escala de subestación 41. La mayor parte de los dispositivos ejecutan diferentes OS, tal como Windows (HMI/Ingeniería), Windows embebido (ordenadores de estación), o VxWorks (puertas de enlace, IEDs).

La figura 2 representa una arquitectura de un dispositivo SA 1 con múltiples unidades de procesado 21, 22, 23 montadas en una sola placa de circuitos (placa madre), o que incluso son parte de una sola CPU multinúcleo 20, algunos recursos compartidos 30 tales como memoria volátil, memoria flash, unidad de disco duro, y una tarjeta de interfaz de red compartida 31. El dispositivo SA incluye varios entornos de ejecución o máquinas virtuales 11-15, habilitados y soportados por una capa de virtualización 10 encima del hardware de procesado. Los diferentes entornos de ejecución alojan las funciones y aplicaciones a ejecutar, proporcionando o emulando toda la cadena de hardware de un PC independiente. Para ello, la capa de virtualización controla el acceso a los recursos de hardware compartidos (HDD, NIC) y a las unidades de procesado 21, 22, 23. Los diferentes entornos de ejecución ejecutan diferentes sistemas operativos (OS) que, a su vez, ejecutan las diferentes funcionalidades a nivel de estación tal como SCADA 11, ingeniería 12, puerta de enlace 13, y opcionalmente aplicaciones de control 14 y protección 15. Al volver al OS original, la instalación de las funciones y aplicaciones no cambia sustancialmente en comparación con su implementación convencional en distintos dispositivos, en particular, no se precisan modificaciones del código de software.

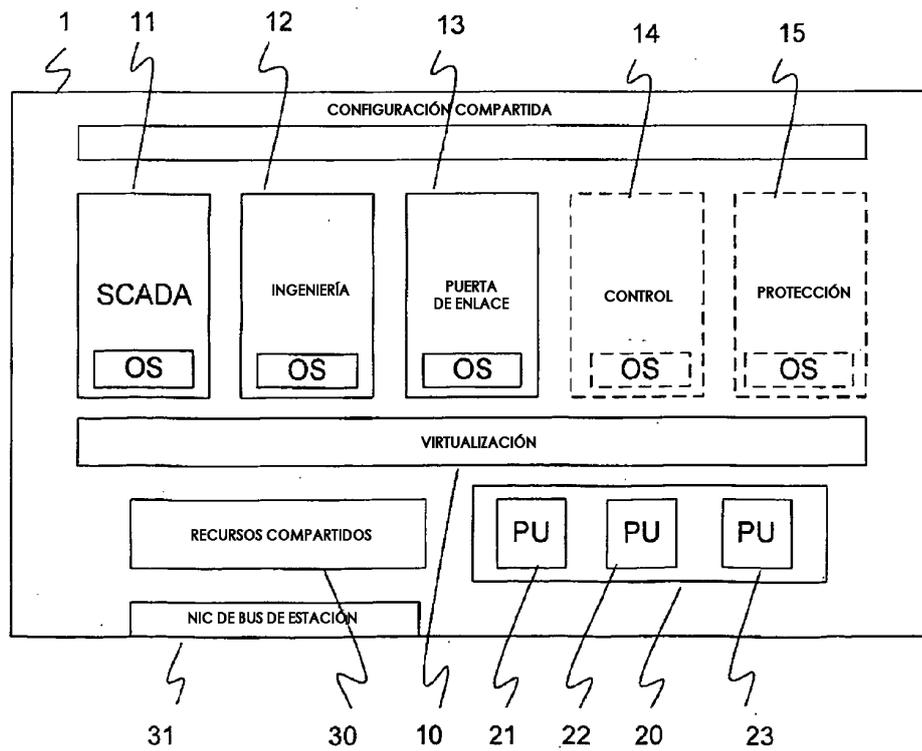
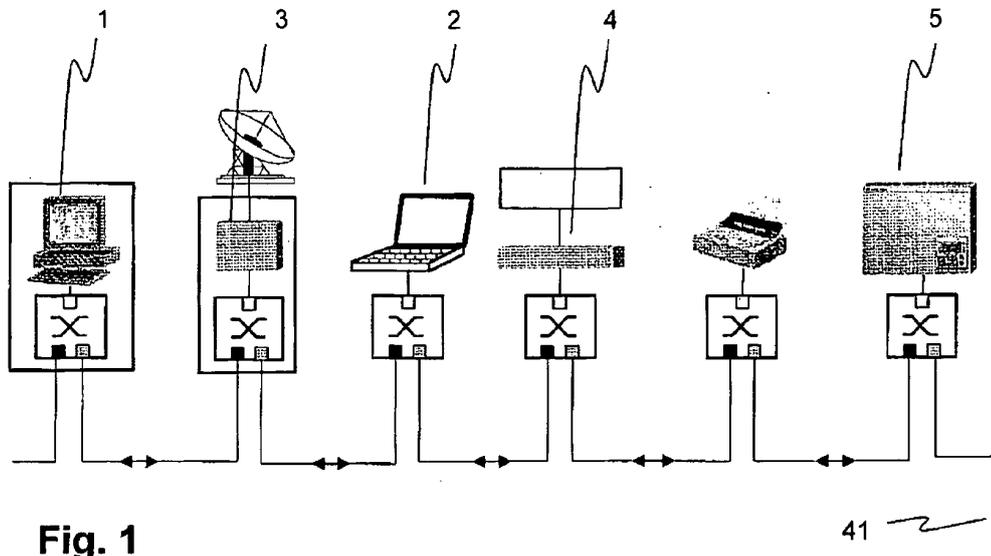
La figura 3 ilustra un extracto de un sistema de automatización de subestación con un dispositivo SA 1 que aloja todas las funcionalidades SA relevantes unidas en un solo sistema. La interfaz de red de bus de estación 31 conecta mediante conmutadores 40 con un bus de estación redundante 41, 41' para intercambiar órdenes de accionador, alarmas y eventos con IEDs 5, 5' de la subestación. Dado que el dispositivo SA propiamente dicho también aloja (reserva) funcionalidad de protección 15, está equipado con un bus de interfaz de proceso 32 que conecta mediante conmutadores con un bus de proceso redundante 42, 42'. Sensores 52, tales como sensores CT/VT, están situados en respectivos compartimientos y proporcionan sus mediciones u otros datos operativos, por ejemplo mediante el IED 5' o la unidad de combinación 53, al bus de proceso 42, 42'. Otras combinaciones de sensores conectados a dispositivos IED y/o el bus de proceso, así como otros esquemas de redundancia para protección y control son claramente posibles.

Lista de designaciones

- 1: dispositivo SA
- 2: PC de ingeniería
- 3: Puerta de enlace
- 4: Cortafuegos
- 5: IED
- 10: Capa de virtualización
- 11-15: Entornos de ejecución
- 20: CPU multinúcleo
- 21, 22, 23: Unidades de procesado
- 30: Recurso compartido
- 31, 32: Tarjeta de interfaz de red
- 40: Conmutador de red
- 41: Bus de estación
- 42: Bus de proceso
- 52: Sensor
- 53: Unidad de combinación

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un dispositivo de automatización de subestación SA (1) adaptado para conexión a un bus de estación (41) de una subestación de un sistema de distribución o transmisión de corriente eléctrica y que tiene múltiples unidades de procesado PU (21, 22, 23) en una sola placa como hardware de procesado principal en la que un primer y un segundo entorno de ejecución (11-12) son creados por medio de técnicas de virtualización (10), donde una primera y una segunda funcionalidad son asignadas al primer y al segundo entorno de ejecución (11-12), respectivamente,
- 10 **caracterizado** porque la primera y la segunda funcionalidad son funcionalidades de subestación a nivel de sistema de un conjunto incluyendo funcionalidades de Control de Supervisión y Adquisición de Datos SCADA, puerta de enlace, ingeniería y cortafuegos.
- 15 2. El dispositivo SA según la reivindicación 1, **caracterizado** porque cada una de las múltiples PUs (21, 22, 23) es una unidad central de proceso individual (CPU), o un núcleo de procesado individual de una CPU multinúcleo (20).
3. El dispositivo SA según la reivindicación 1, **caracterizado** porque los distintos entornos de ejecución (11-15) ejecutan diferentes sistemas operativos.
- 20 4. El dispositivo SA según la reivindicación 1, **caracterizado** porque un tercer entorno de ejecución (15) maneja funcionalidad de protección de subestación.
5. El dispositivo SA según la reivindicación 4, **caracterizado** porque incluye dos interfaces de red (31, 32) para conectar al bus de estación (41) y un bus de proceso (42).
- 25 6. El dispositivo SA según la reivindicación 1, donde los entornos de ejecución (11-15) comparten recursos de hardware (30, 31, 32), **caracterizado** porque algunos de los recursos compartidos (30, 31, 32) están duplicados.
- 30 7. Un sistema de automatización de subestación SA para operar una subestación de un sistema de distribución o transmisión de corriente eléctrica, incluyendo un número de dispositivos electrónicos inteligentes IEDs (5, 5') para proteger y controlar la subestación, un dispositivo SA (1) según una de las reivindicaciones precedentes, y un bus de estación a escala de subestación (41) que interconecta los IEDs y el dispositivo SA.
- 35 8. El sistema SA según la reivindicación 7, **caracterizado** porque incluye un número de sensores (52) para medir valores de proceso, un dispositivo SA (1) según la reivindicación 4 o 5, y un bus de proceso (42) que interconecta los sensores y el dispositivo SA.



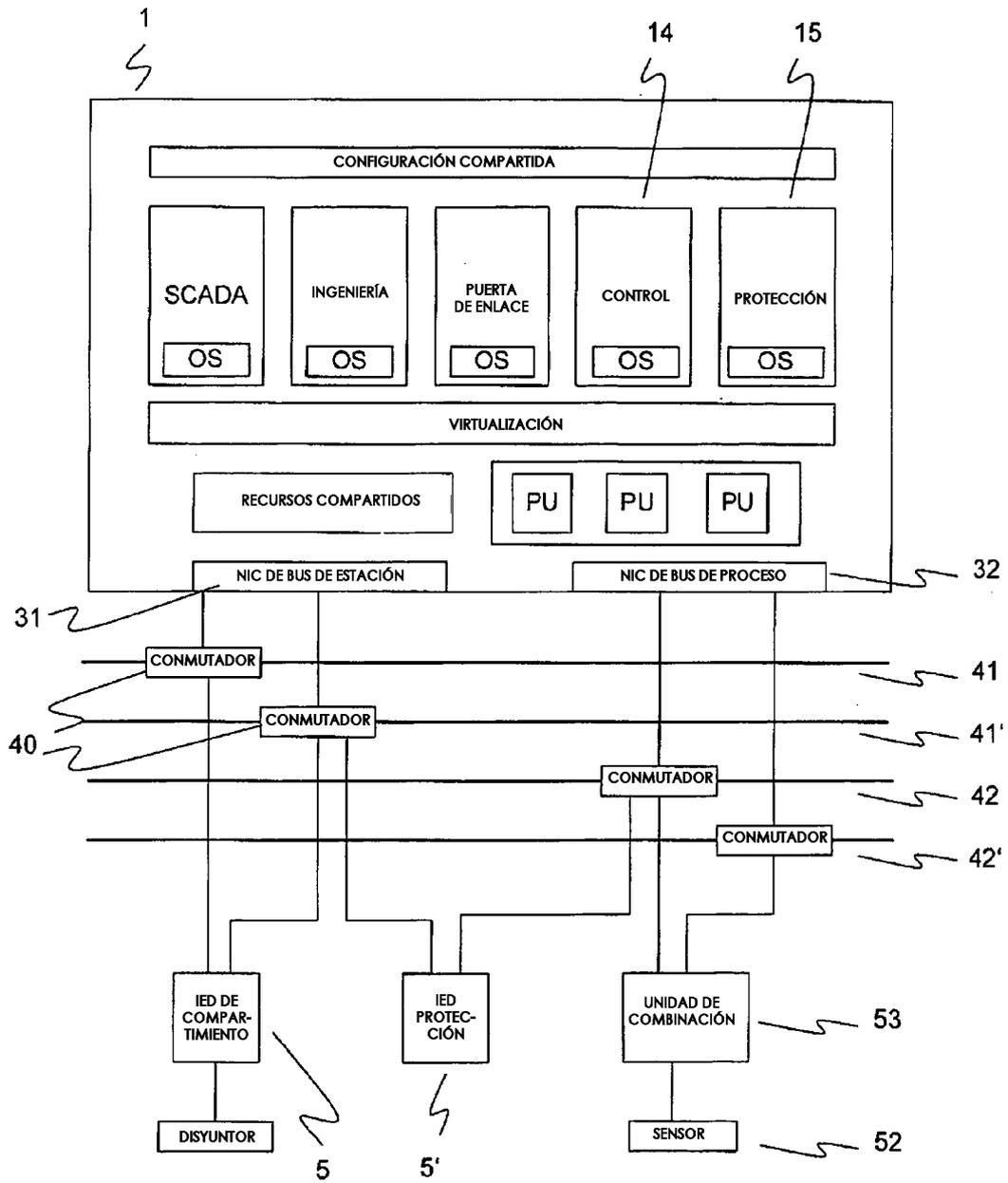


Fig. 3