

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 387 242**

51 Int. Cl.:
H02H 7/26 (2006.01)
H02H 3/05 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09781516 .1**
96 Fecha de presentación: **05.08.2009**
97 Número de publicación de la solicitud: **2319150**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **11.05.2011**

54 Título: **Automatización de subestaciones con protección redundante**

30 Prioridad:
29.08.2008 EP 08163246

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
18.09.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
18.09.2012

73 Titular/es:
**ABB Research Ltd.
Affolternstrasse 44
8050 Zürich, CH**

72 Inventor/es:
**TOURNIER, Jean-Charles y
WERNER, Thomas**

74 Agente/Representante:
Ungría López, Javier

ES 2 387 242 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

Automatización de subestaciones con protección redundante.

5 Campo de la invención

La invención se refiere a un sistema de automatización de subestaciones redundantes para subestaciones en redes eléctricas de alta y media tensión que evita que un dispositivo electrónico inteligente de un solo fallo perjudique el funcionamiento de una bahía de una subestación. La misma parte de un sistema de automatización de subestaciones como se describe en el preámbulo de la reivindicación 1.

Antecedentes de la invención

Las subestaciones en redes eléctricas de alta y media tensión incluyen dispositivos primarios tales como cables eléctricos, líneas, barras bus, conmutadores, transformadores de potencia y transformadores de instrumento, que se disponen generalmente en campos y/o bahías de conmutación. Estos dispositivos primarios funcionan de forma automatizada a través de un sistema de automatización de subestaciones (SA). El sistema SA cuenta con dispositivos secundarios, entre los que se pueden mencionar los dispositivos electrónicos inteligentes (IED), responsables de la protección, control y seguimiento de los dispositivos primarios. Los dispositivos secundarios pueden asignarse con niveles jerárquicos, es decir, el nivel de la estación, el nivel de la bahía, y el nivel de proceso, estando este último separado del nivel de la bahía por una denominada interfaz de proceso. El nivel de la estación del sistema SA incluye una estación de trabajo por operario (OWS), con una interfaz hombre-máquina (HMI) y una puerta de entrada a un Centro de Control de Red (NCC). Los IED sobre el nivel de la bahía, también denominados unidades de módulo o IED de protección en lo que sigue, se conectan a su vez entre sí, así como a los IED en el nivel de la estación a través de una inter-bahía o bus de la estación que tiene principalmente el propósito de intercambiar órdenes e información del estado.

Los dispositivos secundarios en el nivel de proceso comprenden los sensores de tensión (VT), de corriente (CT) y mediciones de densidad de gas, sondas de contacto para detectar las posiciones del cambiador de toma del interruptor y del transformador, y/o actuadores (I/O) para cambiar las posiciones de toma del transformador, o para controlar la conmutación como disyuntores o desconectores. Sensores ejemplares tales como los transformadores de corriente o tensión no convencionales comprenden un convertidor analógico a digital (AD) para el muestreo de señales analógicas, y están conectados a las unidades de bahía a través de un bus de proceso específico o intra-bahía, que puede considerarse como el interfaz de proceso que sustituye a la tradicional interfaz de proceso cableada. Este último conecta los transformadores de corriente o tensión convencionales en el campo de conmutación a los equipos en el nivel de bahía a través de cables de Cu dedicados, en cuyo caso las señales analógicas de los instrumentos transformadores se muestrean por las unidades de bahía.

Una norma de comunicación para la comunicación entre los IED de una subestación ha sido introducida por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) como parte de la norma IEC 61850 titulada "redes y sistemas de comunicación en subestaciones". Para los mensajes críticos fuera de tiempo, la norma IEC 61850-8-1 especifica el protocolo (MMS, ISO/IEC 9506) de Especificación de Mensajes de Producción en base a un protocolo (OSI) de Interconexión de Sistemas Abiertos reducido reaprovisionado con el Protocolos de Control de Transmisión (TCP) y el Protocolo de Internet (IP) en la capa de transporte y de red, respectivamente, y Ethernet y/o RS-232C como medios físicos. Para mensajes críticos en tiempo, tales como órdenes de disparo, la norma IEC 61850-8-1 especifica los Eventos en las Subestaciones orientados de Objeto Genérico (GOOSE) construidos directamente en la capa de enlace a la Ethernet de la pila de comunicación. Para muchas señales críticas en tiempo en el nivel de procesos, tales tensiones o corrientes analógicas medidas, la norma IEC 61850-9-2 especifica el protocolo de los valores muestreados (SV) que también se basa directamente en la capa de enlace a Ethernet. Por lo tanto, la parte 9 de la norma define un formato para publicar, en forma de mensajes de multidifusión en una red Ethernet industrial, datos de medición digitalizados de los sensores de corriente o de tensión en el nivel de proceso. Tal SV u otros datos del proceso se pueden transmitir a través de un bus de proceso inter-bahía, haciendo que la información transmitida esté a disposición de las bahías cercanas. Por ejemplo, para las configuraciones rentables, tales como en las subestaciones de media y baja tensión, el bus de proceso inter-bahía y el bus de la estación se pueden combinar en una sola red de comunicación. En este caso, la red de comunicación se puede considerar un bus de proceso inter-bahía que transmite, además de los datos del proceso, órdenes, estado y reporta mensajes relacionados, que de lo contrario se intercambian a través de un bus de la estación dedicado.

En el contexto de la Automatización de Subestaciones, funcionalidad de protección redundante es la manera de lograr una mayor disponibilidad y fiabilidad. Por lo general, para las subestaciones de transmisión y sub-transmisión, la redundancia completa de la funcionalidad de protección se logra con dos Dispositivos Electrónicos Inteligentes (IED), por bahía, instalados de forma independiente y con cables. Por otro lado, para la tensión media y baja, así como las subestaciones de clientes industriales, un solo IED protege la bahía y, por lo tanto, ninguna funcionalidad de protección redundante está disponible. En este último caso, los IED representan un punto único de fallo para toda la bahía.

Varios enfoques se han propuesto para manejar el fallo de un IED. Una arquitectura *hot-hot* o *hot-standby* es el enfoque clásico de las bahías que incluyen dos IED. En una arquitectura *hot-hot*, ambos IED se están ejecutando en paralelo, mientras que para una arquitectura *hot-standby* el IED de espera se activa cuando falla el IED directo. Ambos enfoques se realizan convencionalmente mediante el cableado desde las entradas y salidas de ambos IED hasta los respectivos actuadores CT/VT (entrada del sensor) y del interruptor (I/O).

De acuerdo con la solicitud de patente EP 1976177, en los Sistemas de Automatización de Subestaciones, el tiempo medio de reparación se reduce por medio de la reconfiguración remota y la puesta en marcha de un Dispositivo Electrónico Inteligente (IED) de reemplazo o de repuesto, dejando más horas para que el personal de mantenimiento repare un IED inactivo o defectuoso. El tiempo requerido para la reparación real es irrelevante para la disponibilidad del sistema, siempre que sea lo suficientemente corto en comparación con la tasa de fallo del IED. Por lo tanto, el IED de repuesto configurado de forma remota resulta en casi la misma disponibilidad que una configuración *hot-standby*, pero sin la necesidad de duplicar todos los IED esenciales - solo se necesita un IED en línea de repuesto para cada conjunto de IED del mismo tipo conectado al mismo bus de la estación y bus de proceso.

La solicitud de patente WO 2008/040263 describe un primer sistema de protección redundante con tres IED de protección principales más un IED de repuesto. Los IED principales se conectan por medio de "buses de procesos locales" dedicados y el IED de repuesto se conecta por medio de un "bus de proceso inter-bahía" a los respectivos objetos protegidos. Los buses transmiten valores analógicos y valores muestreados digitales, con tasas de muestreo posiblemente mayores en los buses de procesos locales que en el bus inter-bahía. El documento WO 2008/040263 describe además un segundo sistema de protección redundante con dos IED que actúan a su vez como IED de protección principal y auxiliar para dos objetos protegidos. La comunicación de los valores del proceso implica dos sensores distintos en el mismo alimentador, es decir un primer sensor para el IED de protección principal y un segundo sensor para el IED de protección auxiliar.

Descripción de la invención

Un objetivo de la invención es evitar que un Dispositivo Electrónico Inteligente (DEI) de un solo fallo en un Sistema de Automatización de Subestaciones (SA) perjudique el funcionamiento de una bahía de una subestación, y proporcionar un concepto de redundancia alternativo para la funcionalidad de protección por bahía. Este objetivo se consigue mediante un Sistema de Automatización de Subestaciones (SA) y la utilización del mismo de acuerdo con las reivindicaciones 1 y 8. Otras realizaciones preferidas son evidentes a partir de las reivindicaciones dependientes de la patente.

De acuerdo con la invención, un IED de protección formalmente asignado a una bahía local o huésped de una subestación de un sistema de energía eléctrica y que interactúa, es decir, intercambia datos y órdenes, con sensores y/o actuadores de la bahía local a la que se asigna, realiza las funciones de protección de la bahía local, más las funciones de protección de al menos una de sus bahías vecinas. De esta manera, cada bahía se puede gestionar por dos IED de protección diferentes, en los que la redundancia se logra a nivel de software en lugar de a nivel de hardware, es decir, no hay necesidad de proporcionar un IED de protección redundante dedicado para cada bahía. Siempre que se requiera, el IED de protección recibe información sobre un estado o valor de una magnitud de proceso de la bahía vecina, calcula o ejecuta la funcionalidad de protección tal como un fallo de exceso de corriente, de sobretensión o de puesta a tierra en nombre de la bahía vecina, y emite las ordenes dirigidas a los actuadores de dicha bahía vecina.

Un requisito principal de la presente invención es que los actuadores y sensores de una bahía local tienen que ser accesibles desde un IED de protección asignado a una bahía vecina, de una manera independiente del IED de protección asignado a la bahía local. Para este fin, una interfaz de proceso se conecta a los sensores y/o actuadores de la bahía local, así como a una red de comunicación SA. La interfaz de proceso está adaptada para enviar mensajes de red del sensor que comprenden valores de una magnitud de proceso de la bahía local como se proporciona por uno de los sensores conectados, tales como los valores muestreados de una señal indicativa de una corriente o tensión de acuerdo con la norma IEC 61850-9-2, a través de la red de comunicación al IED de protección de vecino. Del mismo modo, la interfaz de proceso está adaptada para recibir mensajes de red del actuador del IED de protección vecino y comprende órdenes de acuerdo con la norma IEC 61850-8-1 dirigida a un actuador de la bahía. La expresión "interfaz de proceso" se refiere a una funcionalidad por bahía que se puede alcanzar por una sola unidad de interfaz de proceso física o una pluralidad de unidades de interfaz de proceso conectadas cada una a al menos un sensor o actuador de la bahía y estando individualmente conectadas a la red de comunicación.

La presente invención se basa en el hecho de que ya no es necesario que un IED de protección se conecte por cables a los respectivos sensores a fin de recibir la información necesaria para calcular una función de protección específica. En cambio, es posible que un IED de protección se suscriba un flujo de datos que está disponible en la red de comunicación de todo el sistema SA. Los datos del proceso se publican por una interfaz de proceso, es decir, ya sea un mismo dispositivo sensor que incluya la funcionalidad del convertidor analógico a digital (AD) y que esté conectado directamente a la red de comunicaciones, un IED de protección diferente que toma sus mediciones locales disponibles, o una unidad de fusión (MU) que fusiona las señales instantáneas de una pluralidad de sensores conectados en un solo mensaje de red.

En una variante preferida de la invención, la interfaz de proceso está compuesto en el alojamiento de un IED protección que está conectada por medio de cables a los sensores y actuadores de la bahía local asignada que se tiene que proteger. Sin embargo, la interfaz de proceso no tiene en común con el último todos los medios de procesamiento del CPU o FPGA, una fuente de alimentación, y una tarjeta de interfaz de red, es decir, al menos uno de dichos componentes se duplica dentro del alojamiento de dicho IED de protección. Por lo tanto, en caso de que uno de los componentes duplicados de dicho IED de protección falle e impida que el último ejecute las funciones de protección, la funcionalidad de interfaz de proceso puede continuar operando y proporcionar acceso a los sensores/actuadores.

En una variante alternativa, la interfaz de proceso es parte de un dispositivo independiente o la Unidad de Fusión (MU) se separa de los IED y se conecta, a través de cables de Cu dedicados o por medio de un bus de proceso dedicado o inter-bahía de acuerdo con la norma 61850-9-2 o cualquier otro protocolo adecuado, a los sensores de la bahía local que tiene que protegerse. La MU se adapta para sincronizar en tiempo las muestras de los distintos sensores, colocarlas eventualmente en un mensaje del sensor, y "republicarlas" en la red de comunicaciones SA, con el objetivo hacer que los datos del proceso estén disponibles tanto para el primer IED de protección o local así como para un segundo ID de protección o vecino.

En una realización ventajosa, la función de *protección* redundante en el IED vecino se implementa como una redundancia activa o hot/hot. Por otro lado, y si se requiere adicionalmente, la funcionalidad de *control* redundante tal como el control del conmutador, enclavamiento, o auto-reconexión, se implementa preferiblemente como una redundancia hot/standby que comienza a funcionar sólo en el caso de que falle el IED local. Para detectar este hecho, un seguimiento de la función de control principal tiene que estar disponible (por ejemplo, por medio de una señal de latente).

En resumen, la arquitectura propuesta del SA tolerante a fallos alcanza el mismo nivel de disponibilidad que el que se consigue por un enfoque *hot-hot* o *hot-standby*, pero a un menor coste ya que sólo se requiere un IED por bahía, en lugar de dos. Esto hace de su uso para subestaciones de media tensión y de clientes industriales un dominio preferido. En comparación con los equipos de subestaciones secundarias de hoy en día para las subestaciones de media tensión, el tiempo medio de reparación se reduce desde varias horas a casi al instante ya que las funciones redundantes ya están configuradas y listas para actuar en nombre de un ID local defectuoso. Otra ventaja es que un IED puede ser reparado, mientras que la bahía se sigue protegiendo a través de su IED vecino.

Breve descripción de los dibujos

El objeto de la invención se explicará con más detalle en el siguiente texto con referencia a realizaciones ejemplares preferidas que se ilustran en el dibujo adjunto que muestra esquemáticamente:

La Figura 1 que es una arquitectura SA tolerante a fallos de colaboración ejemplar.

Los símbolos de referencia utilizados en el dibujo, y sus significados, se enumeran de forma resumida en la lista de símbolos de referencia.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

La figura 1 muestra una arquitectura de automatización de Subestaciones (SA) tolerante a fallos de colaboración ejemplar para una subestación con tres bahías 10, 20, 30. El sistema SA comprende una red de comunicación 1 y tres de Dispositivos Electrónicos Inteligentes (IED) de protección 11, 21, 31, cada uno de los cuales ejecuta las funciones de protección P10, P20, P30, en nombre de la bahía 10, 20, 30 respectiva. Para este fin, los IED de protección 11, 21, 31 evalúan entrada de los sensores, hacen funcionar los actuadores, de la bahía respectiva.

Además, la primera bahía 10 comprende sensores de corriente y voltaje 12 no convencionales que capturan la corriente y el voltaje en un lugar determinado de la bahía 10. Los sensores 12 están conectados a una unidad independiente de fusión (MU) 13 como una primera interfaz de proceso ejemplar que a su vez está conectada a la red de comunicación 1. La conexión entre los sensores 12 y la MU 13 pueden incluir convertidores A/D en los sensores y un bus intra-bahía o de proceso dedicado. La MU 13 publica mensajes de multidifusión, por ejemplo, de acuerdo con la norma IEC 61850-9-2, en la red 1. La segunda bahía 20 comprende los transformadores de instrumentos convencionales 22 que están conectados por medio de cables al IED de protección 21. Este último incorpora la funcionalidad de una segunda interfaz de proceso ejemplar 23 y, a su vez comprende una interfaz para la red de comunicación 1 que permite mensajes de multidifusión con datos de proceso de los transformadores del instrumento 22. En la bahía 30, la tercera interfaz de proceso ejemplar 33 es parte de un IED disyuntor 34 y está adaptada para recibir órdenes conducidas por eventos, por ejemplo, de acuerdo con la norma IEC 61850-8-1, y operar una unidad 35 como un actuador ejemplar de un dispositivo de conmutación en respuesta a las mismas.

Como se ha ejemplificado anteriormente, diferentes tipos de sensores y actuadores se pueden conectar de varias maneras a una interfaz de proceso, siendo el último a su vez un nodo de la red de comunicación de SA. Se entiende

además que la interfaz de proceso puede ser parte de cualquiera de un mismo dispositivo sensor que incorpora la funcionalidad del convertidor analógico a digital (A/D) y que se conecta directamente a la red de comunicación, haciendo un ID de protección diferente que sus mediciones locales estén disponibles, o una Unidad de Fusión (MU) que fusiona las señales instantáneas de una pluralidad de sensores conectados en un solo mensaje de red.

5 Como se muestra en el rectángulo de trazos, el IED de protección 21 está, además, adaptado para ejecutar las funciones de protección P10 en nombre de la bahía 10 mediante la evaluación de los mensajes (norma IEC 61850-9-2) publicados por la MU 13 y hacer funcionar los actuadores (por medio de la norma IEC 61850 - 8-1) de la bahía 10. Del mismo modo, los IED de protección 31 y 11 proporcionan una funcionalidad de protección redundante P20, P30, en nombre de las bahías 20, 30 y sus IED por pares 21, 31, respectivamente. El encadenamiento lógico de protección redundante como se representa se puede reemplazar por cualquier asignación arbitraria e incompleta de un IED de protección delegado.

15 Suponiendo una potencia de procesamiento suficiente, uno de los IED de protección podría manejar también las funciones de protección en nombre de más de una de las bahías vecinas. Si cada IED es lo suficientemente potente como para manejar $n > 2$ bahías, el número de los IED soportados que se puede reducir al mismo tiempo hasta llegar $n-1$.

20 Las variantes alternativas para aumentar la disponibilidad del sistema SA se refieren una combinación de la arquitectura propuesta, con un plan de redundancia clásica que implica un IED redundante o de respaldo (*hot-hot* o *hot-standby*) en cada uno de los IED primarios. Cada IED primario y redundante tiene que implementar las funciones de su propia bahía, además de una de sus vecinos. En este caso, el nivel de disponibilidad es, por tanto, mayor (a lo sumo = $N + 1$ IED se pueden reducir, si N es el número de bahías en una subestación) sin coste adicional. La principal ventaja es que los IED primario y redundante situados en la misma bahía se pueden ambos reducir al mismo tiempo. Por otra parte, esta primera ampliación permite aumentar el nivel de disponibilidad al tener IED de diferentes proveedores para los IED primario y redundante.

30 De acuerdo con una variante adicional, la invención propuesta se combina con el concepto de un IED de repuesto como se describe en la solicitud de patente EP 1976177 citada en la parte introductoria. En este caso, cualquiera de los dos IED, y, en particular, incluso dos IED vecinos, se pueden reducir al mismo tiempo. En esta variante, la configuración de un IED que falla que se transfiere al IED de repuesto comprende tanto las funciones de protección de la bahía local del IED que falla, así como las funciones de protección redundantes en nombre de una bahía vecina.

35 La variante final es combinar la arquitectura propuesta tanto con una arquitectura redundante como con el IED de repuesto anterior. Si N es el número de bahías, el número de los IED es, por lo tanto, igual a $2N + 1$, sin embargo, el $2N + 1$ de los mismos se puede reducir.

Lista de las denominaciones

- 40
- 1: red de comunicación SA
 - 10, 20, 30: bahía
 - 11, 21, 31: IED de protección
 - 12, 22: sensor
 - 45 13, 23, 33: interfaz de proceso
 - 34: IED disyuntor
 - 35: actuador

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un sistema de Automatización de Subestaciones SA que comprende un primer y segundo Dispositivos Electrónicos Inteligentes IED (11, 21) de protección adaptados para interactuar con los sensores (12, 22) y actuadores de una primera y segunda bahías (10, 20) respectivas de una subestación de un sistema de energía eléctrica, y configurados para realizar funciones de protección (P10, P20) de la bahía (10, 20) correspondiente, comprendiendo además el sistema SA una primera interfaz de proceso (13) adaptada para conectarse a los sensores (12) y a los actuadores de la primera bahía (10),
caracterizado por que
- 10
- el sistema SA comprende una red de comunicación SA (1) que conecta conmutativamente el primer y segundo IED de protección (11, 21) y la primera interfaz de proceso (13), y **por que**
 - la primera interfaz de proceso (13) está adaptada para transmitir, a través de la red de comunicación (1), mensajes de red del sensor que comprenden valores muestreados de las magnitudes del proceso medidos por los sensores (12) de la primera bahía (10) y adaptada para recibir mensajes, a través de la red de comunicación (1), mensajes de red del actuador, mensajes que comprenden órdenes dirigidas a los actuadores de la primera bahía (10), y **por que**
 - el segundo IED (21) está configurado para realizar una función de protección (P10) en base a un mensaje de red del sensor transmitido por, y que resulta en un mensaje de red del actuador destinado a, la primera interfaz de proceso (13).
- 15
- 20
2. El sistema SA, de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende un tercer IED de protección (31) adaptado para interactuar con los sensores (32) y los actuadores de una tercera bahía (30) de la subestación, y configurado para realizar función de protección (P30) para la tercera bahía (30) y que comprende además una segunda interfaz de proceso (23) adaptada para conectarse a los sensores (22) y a los actuadores de la segunda bahía (20)
caracterizado por que
- la segunda interfaz de proceso (23) y el tercer IED (31) están conmutativamente conectados a la red de comunicación (1), y **por que**
 - el tercer IED (31) está configurado para realizar una función de protección (P20) que implica un mensaje de red transmitido por, y destinado a, la segunda interfaz de proceso (23).
- 25
- 30
3. El sistema SA, de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado por que** los mensajes de red del actuador comprende una identificación del actuador al que se dirige la orden.
- 35
4. El sistema SA, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** la primera interfaz de proceso (13) es casi parcialmente idéntica al primer IED de protección (11).
- 40
5. El sistema SA, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** la primera interfaz de proceso (13) es un dispositivo separado que transmite mensajes de red del sensor, a través de la red de comunicación (1), a ambos IED de protección (11, 21).
- 45
6. El sistema SA, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el segundo IED de protección (21) está adicionalmente configurado para realizar, en una configuración de redundancia *hot/standby*, las funciones de control en nombre de la primera bahía (10).
- 50
7. El sistema SA, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** comprende un solo IED redundante de repuesto conectado a la red de comunicación (1) y que se adapta para configurarse con las funciones de protección (P10, P20) para cualquiera de las dos bahías.
8. Un uso de un sistema SA de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores en una subestación de tensión media o de clientes industriales.

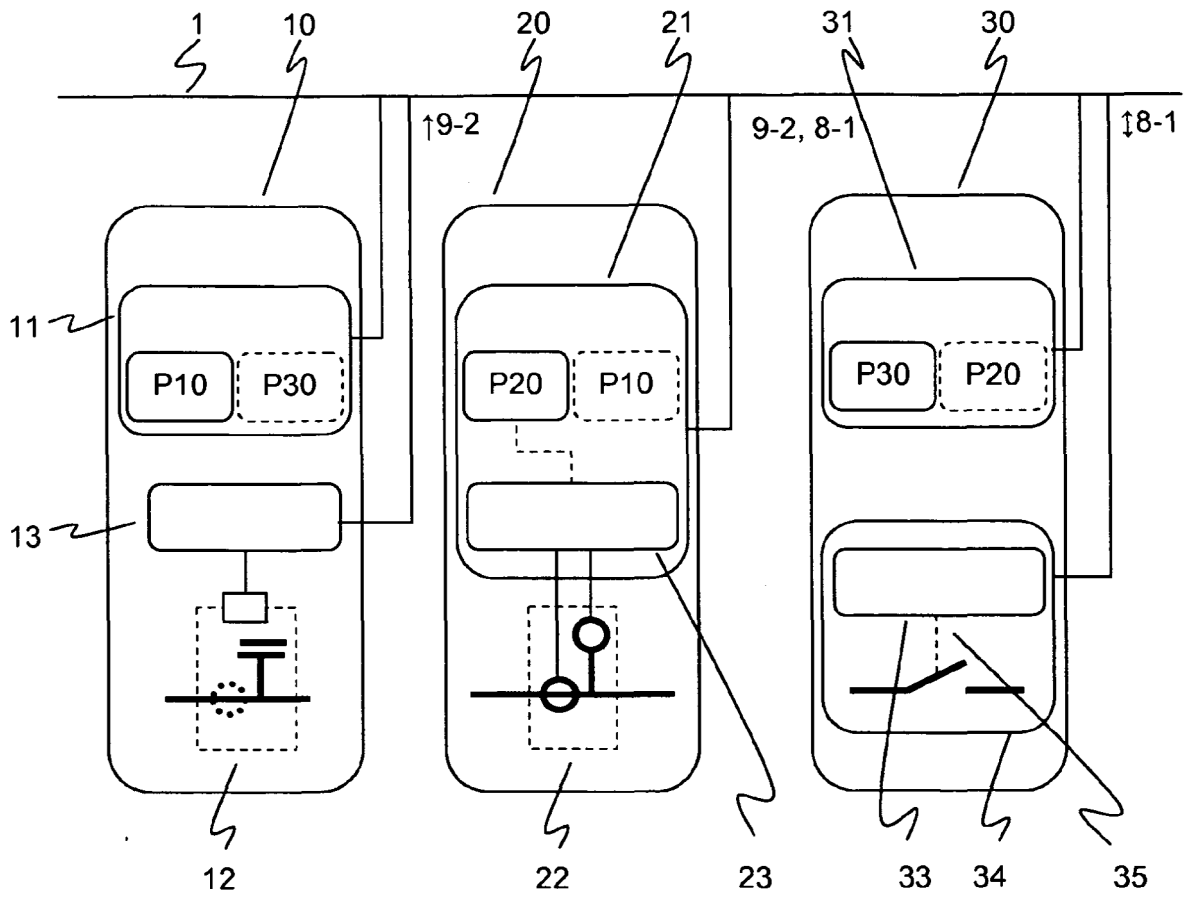


Fig. 1