



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 335 101**

51 Int. Cl.:
F42D 1/055 (2006.01)
F42B 3/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04744568 .9**
96 Fecha de presentación : **13.07.2004**
97 Número de publicación de la solicitud: **1644692**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **12.04.2006**

54 Título: **Procedimiento para identificar un dispositivo esclavo desconocido o no marcado tal como en un sistema de voladura electrónico.**

30 Prioridad: **15.07.2003 US 619949**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
22.03.2010

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
22.03.2010

73 Titular/es: **Special Devices, Inc.**
14370 White Sage Road
Moorpark, California 93021, US

72 Inventor/es: **Kouznetsov, Alexander, Andrianovich**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 335 101 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).

ES 2 335 101 T3

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para identificar un dispositivo esclavo desconocido o no marcado tal como en un sistema de voladura electrónico.

5

Antecedentes de la invención

La presente invención va dirigida, en general, a sistemas que comprenden dispositivos maestros y esclavos, y más particularmente a un procedimiento para identificar un dispositivo esclavo desconocido o no marcado en el sistema tal como en un sistema de voladura electrónico. El documento ZA 9 401 443 A da a conocer un procedimiento para instalar un sistema de voladura programable para la explotación de minas, que monitoriza el sistema con el fin de detectar la conexión de un detonador nuevo para el sistema.

10

Sumario de la invención

En el sistema de la presente invención, se emite una orden por un dispositivo maestro a todos los dispositivos esclavos conectados al sistema, haciendo que todos los dispositivos esclavos que no se han identificado ante el dispositivo maestro respondan con información de identificación y opcionalmente otra información perteneciente al dispositivo esclavo. Por ejemplo, la presente invención puede usarse en un sistema de voladura electrónico, de modo que cuando los detonadores se conectan inicialmente al sistema, la máquina de voladura puede identificar cualquier detonador conectado al sistema que aún no se haya identificado, evitando así la detonación de detonadores no identificados.

15

20

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una vista global que muestra un diseño de un sistema de voladura electrónico en el que puede emplearse la presente invención.

25

La figura 2 es una vista global que muestra un diseño de una configuración alterna de un sistema de voladura electrónico de este tipo.

30

La figura 3 es una vista en sección de un detonador preferido que puede usarse en el sistema de voladura electrónico de las figuras 1 y 2.

35

La figura 4 es una representación esquemática de los aspectos eléctricos principales del módulo de encendido electrónico (EIM) del detonador de la figura 3, que incluye un circuito integrado de aplicación específica (ASIC).

La figura 5 es una representación esquemática de un diseño de circuito preferido para el ASIC de la figura 4.

La figura 6a es un gráfico de tensión frente a tiempo que ilustra una comunicación basada en modulación de tensión preferida desde una máquina de voladura a (un) detonador(es) en el sistema de voladura electrónico de las figuras 1 y 2.

40

La figura 6b es un gráfico de tensión frente a tiempo que ilustra una comunicación basada en modulación de tensión preferida desde un registrador a (un) detonador(es) en el sistema de voladura electrónico de las figuras 1 y 2.

45

La figura 7a es un gráfico de corriente frente a tiempo que ilustra una respuesta basada en modulación de corriente preferida de vuelta desde un detonador a una máquina de voladura en el sistema de voladura electrónico de las figuras 1 y 2.

50

La figura 7b es un gráfico de corriente frente a tiempo que ilustra una respuesta basada en modulación de corriente preferida de vuelta desde (un) detonador(es) a un registrador en el sistema de voladura electrónico de las figuras 1 y 2.

La figura 8 es un gráfico que ilustra una comunicación a un detonador y una respuesta de vuelta desde el detonador a cualquier orden de provocación de respuesta diferente a una orden de detección de bus automática.

55

La figura 9 es un gráfico que ilustra una comunicación a un detonador y una respuesta de vuelta desde el detonador en respuesta a una orden de detección de bus automática.

Las figuras 10a, 10b, 10c y 10d son un diagrama de flujo que ilustra una secuencia lógica preferida para la operación de un sistema de voladura electrónico de las figuras 1 y 2.

60

La figura 11 es un diagrama de flujo que ilustra una secuencia lógica preferida para la operación de un detonador que puede usarse en el sistema de voladura electrónico de las figuras 1 y 2, empezando con la recepción por el detonador de una orden de disparo.

65

La figura 12 es un gráfico de tensión y corriente frente a tiempo en un condensador de disparo en un detonador tal como el de la figura 3, que muestra un proceso de carga regulado por tensión guía de corriente constante.

Descripción detallada de una realización preferida

Para describir la presente invención con referencia a los detalles de una realización preferida particular, se indica que la presente invención puede emplearse en un sistema electrónico que comprende una red de dispositivos esclavos, por ejemplo, un sistema de voladura electrónico en el que los dispositivos esclavos son detonadores electrónicos. Tal como se representa en la figura 1, una realización de un sistema de voladura electrónico de este tipo puede comprender varios detonadores 20, un bus 18 de dos líneas, alambres 19 de detonador que incluyen conectores para acoplar el detonador al bus 18, un registrador (no mostrado) y una máquina 40 de voladura. Los detonadores 20 están preferiblemente conectados a la máquina 40 de voladura en disposiciones paralelas (tal como en la figura 1) u otras que incluyen una rama (tal como con el bus 18' ramificado mostrado en la figura 2), conexiones en árbol, estrella o múltiples conexiones paralelas. Una realización preferida de un sistema de voladura electrónico de este tipo se describe a continuación, aunque un experto en la técnica apreciará fácilmente que también pueden usarse otros sistemas o dispositivos, y pueden realizarse muchas configuraciones, variaciones y modificaciones de incluso el sistema particular descrito en el presente documento, sin alejarse del espíritu y el alcance de la presente invención.

La máquina 40 de voladura y el registrador pueden tener cada uno preferiblemente un par de terminales que pueden recibir un alambre de cobre no aislado (bus) de un calibre hasta, por ejemplo, 14. Los terminales del registrador también pueden estar configurados preferiblemente para recibir alambres de detonador de acero (insensibles a la polaridad) y el registrador debe tener una interfaz adecuada para conectarse a la máquina 40 de voladura. La máquina 40 de voladura y el registrador pueden operarse preferiblemente por una persona que lleve ropa típica usada en operaciones de explotación de minas y de voladura, por ejemplo, guantes gruesos. La máquina 40 de voladura y el registrador pueden ser preferiblemente dispositivos alimentados por batería de mano portátiles que requieren introducir una contraseña para permitir la operación y tienen pantallas iluminadas que proporcionan menús, instrucciones, reproducción mediante teclas y mensajes (incluyendo mensajes de error) según sea apropiado. La máquina 40 de voladura puede tener preferiblemente una tapa articulada y controles e indicadores que incluyen un bloqueo para la tecla de encendido, un teclado numérico con flechas de arriba/abajo y un botón "intro", una pantalla, un botón de armado, (una) luz (luzes) indicadora(s) y un botón de disparo.

La máquina 40 de voladura y el registrador deben diseñarse para una operación fiable en el intervalo anticipado de temperaturas de operación y resistencia de temperaturas de almacenamiento anticipadas y son preferiblemente resistentes a nitrato de amonio y explosivos de emulsión usados normalmente. La máquina 40 de voladura y el registrador también son preferiblemente lo suficientemente robustos para resistir el tratamiento típico en un entorno de explotación de minas o de voladura tal como cuando se dejan caer o se pisan y por tanto pueden tener carcasas que sean estables, resistente al agua y a la corrosión y estar selladas frente al entorno para operar en la mayor parte de las condiciones meteorológicas. La máquina 40 de voladura y el registrador deben, según sea apropiado, cumplir los requisitos aplicables del documento CEN prCEN/TS 13763-27 (NMP 898/FABERG N 0090 D/E) E 2002-06-19 y los requisitos gubernamentales y de la industria. En la práctica, el registrador se diseña preferiblemente para que no pueda disparar cualquier detonador eléctrico y electrónico conocido y la máquina 40 de voladura para que no pueda disparar todos los detonadores eléctricos conocidos y cualquier otro detonador electrónico conocido que no esté diseñado para su uso con la máquina 40 de voladura. Una prueba eléctrica inicial del sistema para detectar un dispositivo de este tipo puede emplearse además para proporcionar una garantía adicional de que no se disparan detonadores no previstos.

El bus 18 puede ser un par dúplex o trenzado y debe elegirse para tener una resistencia previamente seleccionada (por ejemplo, en la realización descrita en este caso, preferiblemente de 30 a 75 Ω por conductor único. El extremo del bus 18 no debe derivarse, aunque su aislamiento de alambre debe ser lo suficientemente robusto como para garantizar la minimización de fugas hacia la tierra, una capacitancia parásita y una inductancia parásita (por ejemplo, en la realización descrita en este caso, preferiblemente una fuga inferior a 100 mA para todo el bus, una capacitancia parásita entre conductores de 50 pF/m y una inductancia parásita entre conductores de 1 μ H/m) bajo todas las condiciones de campo que se produzcan.

Los alambres 19 de detonador y los contactos deben elegirse de modo que tengan una resistencia previamente seleccionada medida desde el terminal de detonador al conector detonador-a-bus (por ejemplo, en la realización descrita en este caso, de 50 a 10 Ω por único conductor más 25 m Ω por contacto de conector). Se reconocerá que el conector detonador-a-bus particular que se usa puede limitar la elección del alambre de bus. Desde un punto de vista funcional, los detonadores 20 pueden acoplarse en cualquier punto en el bus 18, aunque evidentemente deben estar a una distancia segura con respecto a la máquina 40 de voladura.

Tal como se muestra en la figura 3, un detonador 20 adecuado para su uso en un sistema de voladura electrónico tal como el descrito en este caso puede comprender un módulo 23 de encendido electrónico (EIM), una carcasa 29, una carga 36 (que comprende preferiblemente una carga principal y una carga base), alambres 19 de detonador y una conexión 34 de extremo que puede ser rizo en el extremo abierto de la carcasa 29. El EIM 23 es preferiblemente programable e incluye un dispositivo 28 de encendido y una placa de circuitos a la que pueden conectarse diversos componentes electrónicos. En la realización descrita en este caso, el dispositivo 28 de encendido es preferiblemente un dispositivo herméticamente sellado que incluye un sellado de vidrio-a-metal y un alambre 27 de puente diseñado para encender de manera fiable una carga contenida dentro del dispositivo 28 de encendido tras el paso a través del alambre 27 de puente de electricidad a través de clavijas 21 a un nivel de tensión "disparo total" predeterminado. El EIM 23 (incluyendo su sistema electrónico y parte de o todos sus dispositivos 28 de encendido) puede insertarse preferiblemente por moldeo en una encapsulación 31 para formar un único conjunto con terminales para el acoplamiento de

ES 2 335 101 T3

los alambres 19 de detonador. La solicitud de patente estadounidense pendiente de tramitación conjunta del cesionario con n.º de serie 10/158,317 (en las páginas 5-8 y las figuras 1-5) y el n.º de serie 10/158,318 (en las páginas 3-8 y las figuras 1-6), ambas presentadas el 29 de mayo de 2002, se incorporan por el presente documento mediante referencia para sus enseñanzas aplicables de la construcción de detonadores de este tipo bajo la descripción que se expone en el presente documento. Tal como se enseña en esas solicitudes, un EIM 23 en general como el representado en la figura 3 puede fabricarse y manejarse de forma independiente, para su incorporación posterior por parte de un usuario en el conjunto de detonador adaptado del propio usuario (incluyendo una carcasa 29 y una carga 36).

La placa de circuitos del EIM 23 es preferiblemente un microcontrolador o dispositivo lógico programable o de forma más preferible un chip 30 de circuito integrado de aplicación específica (ASIC), un condensador 24 de filtrado, un condensador 25 de almacenamiento preferiblemente, por ejemplo, de 3,3 a 10 μF (para contener una carga y alimentar el EIM 23 cuando el detonador 20 responde de vuelta a un dispositivo maestro tal como se analiza más abajo), un condensador 26 de disparo (preferiblemente, por ejemplo, de 47 a 374 μF) (para contener una reserva de energía que se usa para disparar el detonador 20), componentes electrónicos adicionales y almohadillas 22 de contacto para conectarse a los alambres 19 de detonador y el dispositivo 28 de encendido. Un conector 32 de tierra de carcasa que sobresale a través de la encapsulación 31 para entrar en contacto con la carcasa 29 y conectado, por ejemplo, a una clavija con cubierta metálica en el ASIC 30 (que se describe a continuación), que se conecta al sistema de circuitos dentro del ASIC 30 (por ejemplo, una resistencia controlada por silicio integrado o un diodo) que puede proporcionar una protección frente a una descarga electrostática y radiación electromagnética y de radiofrecuencia que de otro modo podría causar daño y/u operar de manera incorrecta.

Con referencia a la figura 4, se muestra un diseño esquemático electrónico preferido de un detonador 20 tal como el de la figura 3. El ASIC 30 es preferiblemente un chip de señal mixta con dimensiones de 3 a 6 mm. Las clavijas 1 y 2 del ASIC 30 representado son entradas a los alambres 19 de detonador y por tanto el bus 18, la clavija 3 es para la conexión al conector 32 de tierra de carcasa y por tanto la carcasa 29, la clavija 6 está conectada al condensador 26 de disparo y el alambre 27 de puente, la clavija 7 está conectada al condensador 24 de filtrado, la clavija 10 está conectada al alambre 27 de puente, la clavija 13 está conectada a tierra y la clavija 14 está conectada al condensador 25 de almacenamiento.

Haciendo referencia específicamente ahora a la figura 5, el ASIC 30 puede estar compuesto preferiblemente por los siguientes módulos: corrección de polaridad, interfaz de comunicaciones, EEPROM, núcleo lógico digital, generador de referencia, control de condensador de puente, detectores de nivel y alambre de puente FET. Tal como se muestra, el módulo de corrección de polaridad puede emplear diodos rectificadores insensibles a la polaridad para transformar la tensión entrante (independientemente de su polaridad) en una tensión con puesta a tierra común al resto del sistema de circuitos del ASIC 30. La interfaz de comunicación preferiblemente conmuta de manera descendente las tensiones recibidas desde la máquina 40 de voladura de modo que son compatibles con el núcleo digital del ASIC 30 y también conmuta y transmite la corriente de intercomunicación (descrita a continuación) al puente rectificador (y las líneas de bus de sistema) basándose en la salida desde el núcleo digital. El módulo EEPROM almacena preferiblemente la identificación en serie única, el tiempo de retardo, registros de orificio y diversos valores de compensación analógicos del ASIC 30. El núcleo lógico digital contiene preferiblemente la máquina de estados, que procesa los datos entrantes desde la máquina 40 de voladura e intercomunicación saliente a través de la interfaz de comunicación. Los generadores de referencia proporcionan preferiblemente las tensiones reguladas para energizar el núcleo digital y el oscilador (por ejemplo, 3,3 V) y también las partes analógicas para cargar el condensador 26 de disparo y descargar el MOSFET de disparo. El control de condensador de puente contiene preferiblemente un generador de corriente constante para cargar el condensador 26 de disparo y también un MOSFET para descargar el condensador 26 de disparo cuando se desee. Los detectores de nivel están preferiblemente conectados al condensador 26 de disparo para determinar, basándose en su tensión, si está en un estado cargado o descargado. Finalmente, el MOSFET de alambre de puente permite preferiblemente el paso de carga o corriente desde el condensador 26 de disparo a través del alambre 27 de puente tras la actuación poniendo a tierra.

Protocolo de comunicación

La comunicación de datos en un sistema tal como se muestra en las figuras 1 y 2 puede consistir preferiblemente en un protocolo en serie independiente de polaridad de bus de 2 alambres entre los detonadores 20 y un registrador o máquina 40 de voladura. Las comunicaciones desde la máquina 40 de voladura pueden realizarse o bien en un modo individual (dirigidas sólo a un detonador 20 particular) o en modo de difusión en el que todos los detonadores 20 recibirán la misma orden (normalmente órdenes de carga y disparo). El protocolo de comunicación es preferiblemente en serie, contiene comprobación de error cíclico de redundancia (CRC) y bits de sincronización para una precisión de temporización entre los detonadores 20. También hay una orden para detección automática de los detonadores 20 en el bus 18 que de otro modo no habían entrado en la máquina 40 de voladura.

Cuando la máquina 40 de voladura y los detonadores 20 están conectados, la tensión de estado inactivo del sistema se ajusta preferiblemente a $V_{B,H}$. Los detonadores 20 esclavos obtienen entonces preferiblemente su energía desde el bus 18 durante el estado en alto, que energiza sus condensadores 25 de almacenamiento. Las comunicaciones desde la máquina 40 de voladura o el registrador a los ASIC 30 se basa en la modulación de tensión pulsada a la tasa en baudios apropiada, que descifran los ASIC 30 en los paquetes de datos asociados.

ES 2 335 101 T3

Tal como se muestra en las figuras 6a y 6b, pueden usarse diferentes tensiones $V_{L,L}$ y $V_{L,H}$ de operación por el registrador frente a las de la máquina 40 de voladura, $V_{B,L}$ y $V_{B,H}$. En la realización descrita en este caso, valores adecuados para $V_{L,L}$ y $V_{L,H}$ son de 1 a 3 V y de 5,5 a 14 V, respectivamente, mientras que valores adecuados para $V_{B,L}$ y $V_{B,H}$ son de 0 a 15 V y 28 V o superior, respectivamente. Además, un detonador 20 en un sistema de este tipo puede utilizar preferiblemente esta diferencia para detectar si está conectado a la máquina 40 de voladura o el registrador (es decir, si está en el modo de registrador o de voladura), tal como pasando al modo de registrador cuando la tensión es inferior a un valor determinado (por ejemplo, 15 V) y el modo de voladura cuando está por encima de otro valor (por ejemplo, 17 V). Esta diferenciación permite al ASIC 30 del detonador 20 encender preferiblemente, cuando está en el modo de registrador, un MOSFET para descargar el condensador 26 de disparo y/o deshabilitar su lógica de carga y/o disparo. La diferenciación por el detonador 20 también se simplifica de manera ventajosa si no hay ningún solapamiento entre los rangos alto/bajo de la máquina 40 de voladura y el registrador, tal como se muestra en las figuras 6a y 6b. (Cada una de estas figuras representa valores nominales para alto y bajo, aunque es además preferible que los valores aceptables máximos y mínimos para los altos y bajos tampoco permitan un solapamiento).

Por otro lado, en lugar de una modulación de tensión, la comunicación desde los ASIC 30 a la máquina 40 de voladura o el registrador se basa en modulación de corriente (“intercomunicación de corriente”), tal como se muestra en las figuras 7a y 7b. Con la modulación de corriente, los ASIC 30 conmutan la cantidad de corriente al registrador (entre $I_{L,L}$, preferiblemente 0 mA, e $I_{L,H}$, preferiblemente un valor que asciende al menos a 0,1 mA aunque sustancialmente inferior a $I_{B,H}$) o la máquina 40 de voladura (entre $I_{B,L}$, preferiblemente 0 mA, e $I_{B,H}$, preferiblemente un valor que asciende al menos a 5 mA aunque no tan alto como para sobrecargar posiblemente el sistema cuando responden múltiples detonadores 20), que a continuación detecta y descifra estos paquetes de impulsos de corriente en los datos asociados enviados. Esta intercomunicación de corriente desde los detonadores de vuelta al maestro puede realizarse cuando la tensión del bus 18 es alta o baja, aunque, si se realiza cuando el bus 18 es alto, los ASIC 30 rellenan continuamente los condensadores 25 de almacenamiento, provocando un consumo de corriente de fondo alto (especialmente cuando muchos detonadores 20 están conectados al bus 18). Cuando el bus 18 se mantiene preferiblemente bajo, sin embargo, los diodos de puente rectificador presentan una polarización inversa y los ASIC 30 consumen corriente de operación desde los condensadores 25 de almacenamiento en lugar del bus 18, para mejorar la relación señal a ruido de la corriente de intercomunicación detectada en la máquina 40 de voladura o registrador. Por tanto, la intercomunicación de corriente se conduce preferiblemente cuando el bus 18 se mantiene bajo. La interrupción de corriente por los ASIC 30 puede conseguirse de manera adecuada mediante diversos procedimientos conocidos tales como modulación de la tensión en una resistencia de detección, un bucle de realimentación de corriente en un amplificador operacional o incorporando sumideros de corriente constante, por ejemplo un espejo de corriente.

35 *Organización de comunicación de datos en serie (línea de datos en serie)*

En comunicaciones a y desde los dispositivos maestros y los dispositivos esclavos, la interfaz de comunicación de datos en serie puede comprender preferiblemente un paquete que consiste en un número variable o, de manera más preferible, fijo (preferiblemente de 10 a 20) de “bytes” o “palabras” teniendo cada uno preferiblemente una longitud de, por ejemplo, doce bits, enviándose preferiblemente primero el bit más significativo. Dependiendo de la aplicación, podrían usarse de manera alterna otras palabras de tamaño adecuado, y/o podría usarse un número diferente de palabras dentro del paquete. También podría emplearse de manera alterna una estructura de paquete diferente para comunicaciones desde el dispositivo maestro en comparación con las de comunicaciones desde los dispositivos esclavos.

La primera palabra del paquete de la realización descrita en este caso es preferiblemente una palabra de sincronización inicial y puede estar estructurada de modo que sus tres primeros bits sean cero de modo que se recibe de manera eficaz como una palabra de nueve bits (por ejemplo, 101010101, o cualquier otra disposición adecuada).

Además de contener diversos datos tal como se describe a continuación, las palabras subsiguientes también pueden contener cada una preferiblemente varios bits, por ejemplo, cuatro bits al inicio o final de cada palabra, que se proporcionan para permitir una resincronización de flujo medio (que da como resultado una palabra estructurada como 0101_D7:D0 o D7:D0_0101 y que tiene por tanto ocho bits que pueden usarse para transportar datos, o “bits de datos”). Esquemas preferidos de sincronización y resincronización inicial se describen además bajo el título correspondiente a continuación.

Otra palabra del paquete puede usarse para comunicar órdenes, tal como se describe bajo el título correspondiente a continuación.

Preferiblemente se usan de cinco a ocho bytes adicionales del paquete para la identificación en serie (ID en serie) para identificar de manera unívoca (tal como se desea) cada detonador en un sistema. Los bits de datos de los datos de ID en serie pueden consistir preferiblemente al menos en parte de datos tales como el número de revisión, el número de lote y el número de oblea, por motivos de trazabilidad. En órdenes de difusión desde el dispositivo maestro, estas palabras no tienen que contener un ID en serie para un detonador particular y por tanto pueden consistir en valores arbitrarios, o en valores simulados que podrían usarse por algún otro fin.

Palabras adicionales del paquete se usan preferiblemente para transportar información de tiempo de retardo (registro) (y comprenden suficientes bits de datos para especificar un intervalo adecuado de tiempo de retardo, por ejemplo,

ES 2 335 101 T3

en el contexto de un sistema de voladura electrónico, un retardo máximo de la orden de, por ejemplo, un minuto) en aumentos adecuados, por ejemplo, 1 ms en el contexto de un sistema de voladura electrónico. (Un ajuste de cero se considera preferiblemente un error por defecto).

- 5 En la realización descrita en este caso, se usan preferiblemente una o más palabras adicionales del paquete para grabar información, que pueden usarse para definir identificaciones de orificio de voladura (ID de orificio), comprendiendo con estas palabras suficientes bits de datos para alojar el número máximo deseado de ID de orificio.

10 Una o más palabras adicionales del paquete se usan preferiblemente para una comprobación de redundancia cíclica (por ejemplo, usando un algoritmo CRC-8 basado en el polinomio, $x^8 + x^2 + x + 1$), o inferior preferiblemente, una comprobación de paridad o una comprobación de corrección de errores, por ejemplo, usando un código de Hamming. Preferiblemente, no se usan ni la palabra de sincronización inicial ni los bits de sincronización en el cálculo de CRC para o bien la transmisión o la recepción.

15 *Palabra de sincronización y bits de resincronización*

En la realización y aplicación descritas en este caso, un intervalo preferido de posibles tasas de comunicación puede ser de 300 a 9600 baudios. En un paquete enviado por el dispositivo maestro, se usa la palabra de sincronización inicial para determinar la velocidad a la que el dispositivo esclavo recibe y procesa la siguiente palabra en el paquete desde el dispositivo maestro; de manera similar, en un paquete enviado por el dispositivo esclavo, se usa la palabra de sincronización inicial para determinar la velocidad a la que el dispositivo maestro recibe y procesa la siguiente palabra desde el dispositivo esclavo. Algunos de los primeros bits (suficientes para obtener una sincronización relativamente precisa), aunque no todos, de esta palabra de sincronización inicial se muestrean preferiblemente con el fin de permitir tiempo para procesar y determinar la tasa de comunicación antes de recibir la palabra siguiente. La sincronización puede efectuarse por ejemplo mediante el uso de un contador/temporizador que monitoriza transiciones en el nivel de tensión, de bajo a alto o de alto a bajo, y preferiblemente se realiza un promedio de las tasas de los bits muestreados. A lo largo de la transmisión de las palabras siguientes del paquete, es decir, el “flujo medio”, la resincronización se conduce a continuación preferiblemente por el dispositivo de recepción suponiendo que partes de sincronización (por ejemplo, de 4 bits) se proporcionan en (preferiblemente cada una de) esas palabras siguientes. De este modo, puede garantizarse que la sincronización no se pierde durante la transferencia de un paquete.

Si se solicita, un dispositivo esclavo responde de vuelta, tras la transmisión de un paquete desde el dispositivo maestro, a la última tasa muestreada de ese paquete, que es preferiblemente la de la última palabra del paquete. (Esta tasa puede considerarse como la tasa de la palabra de sincronización inicial como sesgada durante la transmisión del paquete, en una máquina de voladura electrónica, tal sesgado es generalmente más pronunciado durante la comunicación desde el detonador al registrador). Con referencia a las figuras 8 y 9, se muestra la comunicación desde un dispositivo maestro a uno esclavo y una respuesta sincronizada de vuelta desde el dispositivo esclavo.

40 Tal como se representa en la figura 8, el dispositivo puede configurarse y programarse preferiblemente para iniciar una respuesta de vuelta a órdenes dirigidas individualmente no posteriores a un periodo predeterminado (tras el borde posterior de extremo de la transferencia de entrada en serie) que comprende el tiempo requerido para completar la transferencia de entrada, la configuración de interfaz en serie para una respuesta de vuelta, y la parte inicial de la palabra de sincronización (por ejemplo, 000101010101). Preferiblemente, el bus 18 debería ponerse (y mantenerse) en bajo dentro del retardo de captura y procesamiento.

Palabra de orden

50 Los bits de datos de la palabra de orden desde el dispositivo maestro (por ejemplo, la máquina de voladura o registrador) en el paquete de comunicación en serie pueden organizarse preferiblemente de modo que se usa un bit para indicar (por ejemplo, ajustándose en alto) que el dispositivo maestro está comunicando, otro se usa para indicar si pide una lectura o una escritura, otro indica si la orden es una orden de difusión o una única orden de dispositivo, y se usan otros bits para transportar la orden particular. De manera similar, los bits de datos de la palabra de orden desde el dispositivo esclavo (por ejemplo, el detonador) pueden organizarse preferiblemente de modo que se usa un bit para indicar que el dispositivo está respondiendo (por ejemplo, ajustándose en alto), otro indica si se ha producido un error de CRC, otro indica si se ha producido un error de dispositivo (por ejemplo, verificación de carga), y otros bits se usan de forma discreta para transportar “banderas de estatus”.

60 Los bits de datos de bandera desde dispositivos pueden usarse para indicar el estado actual del dispositivo y se incluyen preferiblemente en todas las respuestas de dispositivo. Estas banderas pueden disponerse, por ejemplo, de modo que una bandera indica si se ha detectado o no el dispositivo en el bus, otra indica si se ha calibrado, otra indica si está cargándose actualmente y otra indica si ha recibido una orden de disparo. Un valor de bandera de 1 (alto) puede significar entonces una respuesta afirmativa y 0 (bajo) negativa.

65 Un conjunto preferido de órdenes útiles de máquina de voladura/registrator fundamentales pueden incluir: verificación mediante lectura de detonador desconocido (de ajustes de dispositivo); continuidad de comprobación única (de alambre de puente de detonador); retardo de programa/trabajo; detección de bus automática (detectar dispositivos no

ES 2 335 101 T3

identificados); verificación mediante lectura de detonador conocido; continuidad de comprobación (de los alambres de puente del detonador); carga (de los condensadores de disparo); verificación de carga; calibración (de los relojes internos del ASIC); verificación de calibración; disparo (inicia secuencias llevando a disparar los detonadores); descarga; verificación de descarga; y, única descarga. Tal como se explicará además a continuación, algunas de estas órdenes son órdenes “de difusión” (enviadas con cualquier identificación en serie arbitraria y su código de CRC apropiado concomitante) que sólo provocan una respuesta desde cualquier detonador que no se ha identificado previamente o en el que se ha producido un error, mientras que otras van dirigidas a un detonador específico identificado mediante su ID en serie. Las figuras 10a-d muestran un diagrama de flujo de una secuencia lógica preferida de cómo pueden usarse tales órdenes en la operación de un sistema de voladura electrónico, y detalles específicos de la realización preferida descrita en este caso se exponen para cada orden individual bajo los títulos de operación.

Operación- mediante el registrador

En uso, los detonadores 20 se conectan preferiblemente en primer lugar cada uno individualmente a un registrador, que preferiblemente lee el ID en serie del detonador, realiza diagnósticos y correlaciona el número de orificio con el ID en serie del detonador. En este punto, el operador puede programar entonces el tiempo de retardo del detonador si aún no se ha programado. Una vez que un detonador 20 se conecta al registrador, el operador energiza el registrador y ordena la lectura del ID en serie, la realización de diagnósticos, y, si se desea, la escritura de un tiempo de retardo. A medida que se lee el ID en serie, el registrador puede asignar un número de orificio secuencial y retiene un registro del número de orificio, el ID en serie y el tiempo de retardo.

La secuencia anterior puede conseguirse de manera favorable usando la verificación mediante lectura de detonador desconocido anteriormente mencionada y órdenes de continuidad de comprobación única y posiblemente la orden de retardo de programa/trabajo. Detalles preferidos de estas órdenes se exponen a continuación.

Verificación mediante lectura de detonador desconocido

Mediante esta orden, la máquina 40 de voladura o el registrador pide una verificación mediante lectura del ID en serie, el tiempo de retardo, la información de trabajo, y banderas de estatus (en particular incluyendo su estatus de carga) de un detonador 20 desconocido único. La bandera de detección de bus no se ajusta mediante esta orden. (Como una alternativa a esta orden, el registrador podría en su lugar realizar una versión de las órdenes de detección de bus automática y verificación mediante lectura de detonador conocido descritas a continuación).

Continuidad de comprobación única

Mediante esta orden, el registrador pide una comprobación de continuidad de un detonador 20 único del que se conoce el ID en serie. El registrador puede emitir (preferiblemente) esta orden antes de la programación (o reprogramación) de un tiempo de retardo para el detonador 20 particular. En respuesta a esta orden, el ASIC 30 del detonador 20 hace que se lleve a cabo una comprobación de continuidad en el alambre 27 de puente. La comprobación de continuidad puede conseguirse de manera favorable, por ejemplo, al provocar el ASIC 30 (a su tensión de operación) una corriente constante (por ejemplo, aproximadamente $27 \mu\text{A}$ con un alambre 27 de puente nominal de $1,8 \Omega$ en la realización descrita en este caso) que va a hacerse pasar a través del alambre 27 de puente a través de, por ejemplo, un interruptor MOSFET y medir la tensión resultante a lo largo del alambre 27 de puente, por ejemplo, con un elemento A/D. La resistencia global del alambre 27 de puente puede calcularse entonces a partir de la caída óhmica a lo largo del alambre 27 de puente y la corriente constante usada. Si la resistencia calculada está por encima de un intervalo de valores umbral (por ejemplo, en la realización descrita en este caso, un intervalo de 30 a 60 k Ω), el alambre 27 de puente se considera abierto, es decir, no continuo. Si se detecta un error de este tipo, entonces el detonador 20 responde de vuelta con un código de error correspondiente (es decir, fallo de comprobación de continuidad tal como se indica mediante el bit de datos respectivo de la palabra de orden).

Retardo de programa/trabajo

Mediante esta orden, si el detonador 20 aún no se ha programado con un tiempo de retardo o si se desea un nuevo tiempo de retardo, el operador puede programar el detonador 20 en consecuencia. A través de esta orden, la máquina 40 de voladura o el registrador pide una escritura de la información de retardo y de trabajo para un único detonador 20 del que se conoce el ID en serie. Esta orden también ajusta preferiblemente la bandera de detección de bus (transportada mediante el bit de datos respectivo de la palabra de orden) en alto.

Operación- mediante la máquina de voladura

Después de que algunos o todos los detonadores 20 puedan haberse procesado así mediante el registrador, se conectan al bus 18. Varios detonadores 20 pueden conectarse dependiendo de las especificaciones del sistema (por ejemplo, hasta mil o más en la realización particular descrita en este caso). El operador energiza entonces la máquina 40 de voladura, que inicia una comprobación para la presencia de detonadores incompatibles y fuga, y preferiblemente puede que se le pida que introduzca una contraseña para continuar. El registrador se conecta entonces a la máquina 40 de voladura y una orden emitida para transferir la información registrada (es decir, número de orificio, ID en serie, y

ES 2 335 101 T3

tiempo de retardo para todos los detonadores registrados), y la máquina 40 de voladura proporciona una confirmación cuando se ha recibido esta información. (Aunque se usa en la realización preferida, no tiene que usarse un registrador por separado para registrar los detonadores 20, y podría configurarse un sistema en el que la máquina 40 de voladura registra los detonadores 20, por ejemplo, usando una orden de detección de bus automática o se usan otros medios para transportar la información pertinente a la máquina 40 de voladura y/o llevar a cabo cualquier otra función que se asocia normalmente con un registrador tal como las funciones descritas anteriormente).

La máquina 40 de voladura puede programarse preferiblemente para exigir entonces al operador que lleve a cabo una comprobación de diagnóstico de sistema antes de proceder a armar los detonadores 20, o realizar una comprobación de este tipo automáticamente. Esta orden hace que la máquina 40 de voladura compruebe y realice diagnósticos en cada uno de los detonadores 20 esperados, y notifica cualquier error, que debe resolverse antes de que pueda producirse un disparo. La máquina 40 de voladura y/o los ASIC 30 también se programan preferiblemente de modo que el operador también puede programar o cambiar el retardo para detonadores 20 específicos tal como se desea.

La máquina 40 de voladura y/o los ASIC 30 se programan preferiblemente para permitir al operador armar los detonadores 20, es decir, emitir la orden de carga (y los ASIC 30 para recibir esta orden) una vez que no haya errores, lo que provoca la carga del condensador 26 de disparo. De manera similar, la máquina 40 de voladura y/o los ASIC 30 se programan preferiblemente para permitir al operador emitir la orden de disparo (y los ASIC 30 para recibir esta orden) una vez que se hayan cargado y calibrado los condensadores 26 de disparo. La máquina 40 de voladura y/o los ASIC 30 también se programan preferiblemente de modo que, si la orden de disparo no se emite dentro de un periodo establecido (por ejemplo, 100 s), los condensadores 26 de disparo se descargan y el operador debe iniciar la secuencia si se desea realizar un disparo.

La máquina 40 de voladura también se programa preferiblemente de modo que, tras el armado, una(s) luz (luces) indicadora(s) de armado se ilumina(n) (por ejemplo, en rojo), y a continuación, tras una carga con éxito de los detonadores 20, esa luz preferiblemente cambia de color (por ejemplo, a verde) u otra se ilumina para indicar que el sistema está listo para disparar. La máquina 40 de voladura también se programa preferiblemente de modo que el usuario debe apretar juntos botones de armado y disparo separados hasta el disparo o si no se descargan los condensadores 26 de disparo y el operador debe reiniciar la secuencia para realizar el disparo.

La secuencia anterior puede conseguirse de manera favorable con otras órdenes indicadas anteriormente, de las que se analizan a continuación detalles preferidos.

Detección de bus automática

Esta orden permite a la máquina 40 de voladura detectar cualquier detonador 20 desconocido (es decir, no registrado) que esté conectado al bus 18, haciendo que tales detonadores respondan con su ID en serie, datos de retardo, datos de trabajo, y ajustes de bandera de estatus actual. La máquina 40 de voladura y el ASIC 30 están configurados y programados de modo que esta orden se usa como sigue:

1. La máquina 40 de voladura difunde el paquete de orden de detección de bus automática en el bus 18. Todos los detonadores 20 que reciben la orden que no se han detectado previamente en el bus 18 (tal como se indica mediante sus ajustes de bandera de estatus de detección de bus respectivos) calculan un valor "de reloj" que está correlacionado con sus ID en serie y/o información de tiempo de retardo, y entonces entran en un estado de espera. El valor de reloj correlacionado puede calcularse, por ejemplo, a partir de un número de 11 bits derivado de CRC-8 del ID en serie combinado y bits de datos seleccionados (por ejemplo, 8 bits) de la palabra de registro de retardo del paquete de orden de detección de bus automática, de modo que se consigue un tiempo adecuado entre cada posible valor de reloj para la iniciación de una respuesta (incluyendo cualquier retardo tal como se describe a continuación) desde un detonador 20 correspondiente.
2. La máquina 40 de voladura empieza entonces a emitir una secuencia "de reloj" en el bus 18 que continúa (excepto cuando se detiene o aborta tal como se describe a continuación) hasta que alcanza un número que está correlacionado con el ID en serie del detonador más alto posible en el sistema (por ejemplo, usando el número de 11 bits descrito anteriormente, puede haber 2.048 posibles valores de reloj). Debe dejarse tiempo entre el final del paquete de orden de detección de bus automática y la emisión de un reloj que está correlacionado con el primer ID en serie posible, para permitir el cálculo mediante los ASIC 30 de los valores de reloj que están correlacionados con sus ID en serie. Esto puede conseguirse incluyendo un tiempo de espera (por ejemplo, 10 μ s en la realización descrita en este caso) entre el final del paquete de orden de detección y el borde de entrada de la primera transición del reloj. Para permitir una intercomunicación de corriente (tal como se describe en otro punto en el presente documento), el bus 18 se mantiene preferiblemente en bajo durante este tiempo, aunque de manera alternativa puede mantenerse en alto.
3. Cuando se alcanza el valor de reloj para un detonador 20 no registrado particular, responde el ASIC 30 de ese detonador 20. En la realización descrita en este caso, se deja tiempo (durante el que el bus 18 se mantiene en alto o en bajo, preferiblemente en bajo) para la iniciación de una respuesta que se retarda por un periodo predeterminado tal como se muestra en la figura 9. El sistema puede configurarse preferiblemente de modo que, si el bus 18 no se pone en bajo antes de un periodo de espera predeterminado (por ejemplo, 4,096 ms), el proceso de detección se abortará.

ES 2 335 101 T3

4. Tras detectar una respuesta desde uno o más detonadores 20, la máquina 40 de voladura detiene la secuencia de reloj y mantiene el bus (preferiblemente en bajo) hasta que se recibe el paquete de respuesta completo, punto en que se reanuda la secuencia de reloj. De manera alternativa, podría permitirse un tiempo adecuado para la transmisión de un paquete completo entre el recuento de cada valor de reloj que está correlacionado con un posible ID en serie, sin embargo, esto sería más lento. La máquina 40 de voladura registra al menos el ID en serie (y opcionalmente también los ajustes de dispositivo) de cualquier detonador 20 de respuesta. Si más de un ASIC 30 empieza a responder simultáneamente, la máquina 40 de voladura preferiblemente ignora tales respuestas y preferiblemente reanuda la secuencia de reloj tal como lo haría de otro modo.
5. El proceso que empieza con el paquete de detección de bus automática se repite entonces usando un tiempo de retardo diferente o un ID en serie simulado diferente hasta que no responda ningún detonador 20 no registrado (es decir, hasta que se cuente una secuencia de reloj completa sin que responda ningún dispositivo), punto en que se considera que están identificados todos los detonadores 20 conectados al bus 18.
6. Cuando la secuencia de detección de bus automática está completa, la máquina 40 de voladura envía entonces (en cualquier orden deseado tal como mediante el ID en serie) la orden de verificación mediante lectura de detonador conocido (que se describe inmediatamente a continuación) a cada detonador 20 conocido individual, es decir, a todos los que respondieron a la orden de detección de bus automática, así como todos los que inicialmente estaban identificados ante la máquina 40 de voladura mediante el registrador.

Verificación mediante lectura de detonador conocido

Mediante esta orden, la máquina 40 de voladura o el registrador pide una verificación mediante lectura de un detonador 20 único del que se conoce el ID en serie. En respuesta a esta orden, el detonador 20 proporciona su ID en serie, tiempo de retardo, información de trabajo, y banderas de estatus (notablemente incluyendo su estatus de carga). Esta orden preferiblemente ajusta la bandera de detección de bus en alto de modo que el dispositivo ya no responde a una orden de detección de bus automática.

Comprobación de continuidad

El sistema debe configurarse de modo que se requiera emitir esta orden antes de que pueda emitirse la orden de carga (que se describe inmediatamente a continuación). Mediante esta orden, la máquina 40 de voladura difunde una petición a todos los detonadores 20 conectados al bus 18 para realizar una comprobación de continuidad. En respuesta, cada ASIC 30 en los detonadores 20 realiza una comprobación de continuidad sobre el alambre 27 de puente tal como se describió anteriormente con respecto a la orden de continuidad de comprobación única enviada a un detonador 20 específico.

Carga

Mediante esta orden, la máquina 40 de voladura pide una carga de todos los detonadores 20 conectados al bus 18. Tras cargar cada detonador 20, su bandera de estatus de carga se ajusta en alto. Los detonadores 20 responden de vuelta a la máquina 40 de voladura sólo si se ha producido un error (por ejemplo, un error de CRC, la bandera de detección de bus no está en alto, o - si se escalona se usa la carga como se describe posteriormente - el registro de trabajo se ajusta a cero), en cuyo caso la respuesta incluye el código de error correspondiente.

Si se conecta un gran número de detonadores 20 al bus 18, la carga puede preferiblemente escalonarse de modo que los detonadores 20 se cargan cada uno en diferentes momentos tal como mediante las siguientes etapas:

1. La máquina 40 de voladura difunde la orden de carga en el bus 18.
2. La máquina 40 de voladura entonces comienza a emitir una secuencia de reloj a una frecuencia temporal seleccionada en el bus 18, secuencia que continúa hasta un determinado número máximo correspondiente al número máximo del registro de trabajo, por ejemplo, 4.096.
3. Cuando el número de relojes alcanza un número programado en el registro de trabajo de un detonador 20 particular, ese detonador 20 se carga. Los detonadores 20 pueden tener valores de trabajo únicos o pueden agruparse por número de trabajo en bancos (de por ejemplo, 2 a 100) que por tanto se cargan de manera concurrente. La frecuencia de reloj debe temporizarse y los valores de trabajo de detonador ajustados de manera secuencial de modo que se garantiza que se consigue un tiempo de carga mínimo deseado individual (es decir, sin solapamiento) para cada detonador 20 o banco de detonadores 20, que puede realizarse de varias maneras (por ejemplo, usando números de trabajo de 1, 2, 3 ... a una frecuencia de reloj dada tiene el mismo efecto que los números de trabajo de 2, 4, 6 ... a una frecuencia de reloj que es el doble de rápida). Cuando se recibe el reloj correspondiente al detonador 20, el ASIC 30 comienza a cargar el condensador 26 de disparo (véase, por ejemplo, la figura 5) hasta que la tensión de condensador alcanza un umbral cargado predefinido, punto en el que entonces se mantiene la carga superior del condensador 26 de disparo.

ES 2 335 101 T3

4. Si el umbral de tensión de condensador no se consigue dentro una ventana deseada especificada (por ejemplo, en la presente realización, entre 1,048 s y 8,39 s después de que el ASIC 30 comience a cargar el condensador 26 de disparo), entonces el ASIC 30 excede el tiempo de espera y ajusta la bandera de estatus de carga en bajo (aunque no es necesario programarlo para enviar una respuesta que comunica el error en este momento, suponiendo que se use la orden de verificación de carga que se describe posteriormente).
5. El proceso de carga finaliza cuando el bus 18 se mantiene en bajo durante más de un periodo de espera predeterminado, por ejemplo, 4,096 ms.

El tiempo mínimo requerido para cargar una red de detonadores de manera escalonada por tanto es esencialmente igual al tiempo de carga deseado de condensador individual (o banco) (que a su vez depende del proceso de carga particular usado y el tamaño del condensador 26 de disparo) multiplicado por el número de detonadores 20 (o bancos). Por ejemplo, en la presente realización, pueden ser deseables aproximadamente 3s por condensador con un sistema que incluye 100 detonadores o bancos de detonadores en el que se emplea el proceso de regulación de corriente constante que se describe posteriormente, y da como resultado un tiempo de carga global de 300 s. Como alternativa, el cronometrado de carga puede controlarse sobre un amplio intervalo de valores de trabajo, por ejemplo, cronometrando a un determinado número de impulsos (en el que todos los detonadores con valores de trabajo hasta este número de impulsos se cargarán), pausando el cronometrado momentáneamente para permitir que estos detonadores se carguen adecuadamente hasta la capacidad completa antes de emitir impulsos de reloj adicionales, pausando y reanudando de nuevo si se desea, y así sucesivamente.

En cuanto al dispositivo, la electricidad suministrada a cada condensador 26 de disparo durante la carga puede preferiblemente ser a través de un proceso de carga regulado por tensión guía de corriente constante, como se muestra en la figura 12. En un proceso de carga de este tipo, el consumo de corriente se mantiene constante a una cantidad relativamente baja (por ejemplo, a 1 mA) mientras que la tensión aumenta de manera lineal con el tiempo hasta que se alcanza una "tensión guía" (que es la tensión de regulador, que se elige a su vez de manera adecuada con la capacitancia del condensador 26 de disparo y la energía de disparo del alambre 27 de puente), tras lo cual la tensión permanece constante a la tensión guía y el consumo de corriente disminuye por tanto rápidamente. Tal regulación de carga, que se conoce por ejemplo en el campo de los cargadores de batería de ordenadores portátiles, puede conseguirse mediante varios procedimientos tales como un espejo de corriente usando dos transistores bipolares o MOSFET, una tensión de fuente de puerta fija en un JFET o MOSFET, o una realimentación de corriente usando un op amp o comparador.

Verificación de carga

Mediante esta orden, la máquina 40 de voladura difunde una petición a todos los detonadores 20 en el bus 18 para verificar que están cargados. Si no se cargó un ASIC 30 (como se refleja mediante un ajuste de bandera de estatus de carga en bajo por el procedimiento de carga descrito anteriormente) o tiene un error de CRC, inmediatamente responde de vuelta con el código de error apropiado y otra información que incluye sus banderas de estatus. La orden de verificación de carga también puede proporcionar de manera efectiva una verificación de la capacitancia apropiada del condensador 26 de disparo si se emplea un tiempo de ventana de carga como se describió anteriormente con referencia al proceso de carga, y sus límites se definen respectivamente para corresponderse con el tiempo requerido (usando el proceso de carga seleccionado) para cargar un condensador 26 de disparo con los límites superior e inferior de capacitancia aceptable. Por ejemplo, en la realización descrita en este caso, usando una carga limitada por tensión guía de corriente constante (1 mA), un condensador de 47 μF se carga nominalmente a 25V en 1,2 s, y una ventana de desde 0,5 a 3 s corresponde a límites de capacitancia máxima/mínima aceptables (es decir, aproximadamente de 20 a 100 μF), o un condensador de 374 μF se carga nominalmente a 25V en 9,4 s, y una ventana de desde 6,25 hasta 12,5 s corresponde a límites de capacitancia máxima/mínima aceptables (es decir, aproximadamente de 250 a 500 μF). Si la máquina 40 de voladura recibe un mensaje de error en respuesta a esta orden, puede volver a difundir la orden de carga y terminar la secuencia, o de manera alternativa podría configurarse y programarse para permitir el diagnóstico individual y carga individual de cualquier detonador 20 específico que responda con errores.

Calibración

Cada uno de los detonadores 20 contiene un oscilador interno (véase la figura 5), que se usa para controlar y medir la duración de cualquier retardo o periodo de tiempo generados o recibidos por el detonador 20. La frecuencia de oscilador exacta de un detonador 20 dado no se conoce y varía con la temperatura. Con el fin de obtener temporización repetible y precisa de voladura, esta variación debe compensarse. En la presente realización esto se consigue pidiendo al detonador 20 que mida (en cuanto a su propia frecuencia de oscilador) la duración de un impulso de calibración fijo, NOM (preferiblemente, por ejemplo, de 0,5 a 5 s en una realización tal como la descrita en este caso), que se genera mediante la máquina 40 de voladura usando su oscilador interno como referencia. En la presente realización, el detonador 20 entonces usa la duración de impulso medida, CC, para calcular el retardo de disparo en cuanto a los recuentos del oscilador usando la siguiente fórmula: recuentos = DLY*(CC/NOM) donde DLY es el valor del registro de retardo. (En la presente realización se supone que la temperatura del detonador 20 se ha vuelto estable o cambia de manera insignificante en el momento en que se realiza la voladura en realidad).

Mediante la orden de calibración (los bytes de dirección de los que pueden contener datos arbitrarios), la máquina 40 de voladura difunde una petición para calibrar todos los detonadores 20 en el bus 18. Un detonador 20 responde

ES 2 335 101 T3

de vuelta a la orden de calibración sólo si se ha producido un error (por ejemplo, un error de CRC o las banderas de detección de bus o de estatus de cargas no están en alto), en cuyo caso la respuesta incluye el código de error correspondiente. Si no hay ningún error, inmediatamente después de recibirse el paquete de calibración, el detonador 20 espera hasta que el bus 18 se pone en alto durante un periodo establecido (por ejemplo, el mismo periodo descrito anteriormente como NOM), en cuyo punto el ASIC 30 comienza a contar a su frecuencia de oscilación hasta que el bus 18 se pone de nuevo en bajo para finalizar la secuencia de calibración. El número de recuentos contados por el ASIC 30 durante este periodo establecido entonces se almacena en el registro de calibración de detonador (y se usa posteriormente por el ASIC 30 para determinar los valores de cuenta atrás) y la bandera de calibración se ajusta en alto. Poniendo el bus 18 en bajo finaliza la secuencia de orden de calibración, y el flanco ascendente de la siguiente transición a alto en el bus 18 entonces se reconoce como el inicio de una nueva orden.

Verificación de calibración

Mediante esta orden, la máquina 40 de voladura difunde una petición para verificar la calibración de todos los detonadores 20 en el bus 18. En respuesta, cada detonador 20 comprueba que el valor en su registro de calibración está dentro de un determinado intervalo (por ejemplo, en la realización descrita en este caso, +/-40%) de un valor correspondiente al número ideal o nominal de ciclos de oscilador que se produciría durante el periodo NOM. Un detonador 20 responde de vuelta sólo si el valor de calibración está fuera del intervalo o se ha producido otro error (por ejemplo, un error de CRC o las banderas de estatus de calibración, de carga, o de detección de bus no están en alto), en cuyo caso la respuesta incluye el código de error correspondiente.

Disparo

Mediante esta orden, la máquina 40 de voladura difunde una petición para disparar todos los detonadores 20 en el bus 18. Un detonador 20 responde de vuelta a esta orden sólo si se ha producido un error (por ejemplo, un error de CRC, las banderas de estatus de calibración, de carga, o de detección de bus no están en alto, o el registro de retardo está ajustado a cero), en cuyo caso la respuesta incluye el código de error correspondiente. Si no, en respuesta a esta orden, el ASIC 30 de cada detonador 20 inicia una secuencia de cuenta atrás/disparo y ajusta la bandera de disparo en alto. La máquina 40 de voladura y el registrador y/o el ASIC 30 pueden configurarse y programarse de manera favorable de modo que este proceso es el siguiente (véase también la figura 11):

1. Tras recibir la orden de disparo, si hay errores de CRC o de procedimiento y el ASIC 30 todavía no ha recibido con éxito una orden de disparo, entonces el dispositivo responde de vuelta inmediatamente con el código de error apropiado. (En cuyo caso, como se muestra en la figura 10d, la máquina 40 de voladura preferiblemente responde difundiendo una orden de descarga a todos los detonadores 20; de manera alternativa, puede diseñarse para permitir el diagnóstico y la corrección individual de cualquier detonador 20 respondiendo con un error, o puede emitir órdenes de disparo adicionales como se indica en la etapa 3 posterior). Si no hay ningún error, entonces el ASIC 30 entra en una "cuenta atrás de predisparo", el tiempo de retardo para el que está programado mediante información de retardo del paquete que transporta la orden de disparo. Por ejemplo, dos bits de un byte de registro de retardo pueden corresponder a cuatro retardos de cuenta atrás de predisparo diferentes que se basan en la secuencia de calibración y desplazamiento anteriores, por ejemplo, con un valor de 1-1 corresponde a un retardo de 4,096 s, 1-0 a un retardo de 2,048 s, 0-1 a un retardo de 1,024 s, y 0-0 a un retardo de 0,512 s.
2. En cualquier momento durante la cuenta atrás de la cuenta atrás de predisparo, el detonador 20 puede recibir una descarga u orden de descarga única, u otra orden de disparo. Si la orden de disparo se envía de nuevo, entonces el ASIC 30 verifica si no hay ningún error de CRC. Si hay un error de CRC, entonces se ignora la nueva orden de disparo y la cuenta atrás de predisparo existente continúa avanzando. Si no hay ningún error de CRC, entonces el ASIC 30 reinicializa su valor de cuenta atrás de predisparo al valor determinado por el registro de retardo del nuevo paquete de orden de disparo, e inicia una nueva cuenta atrás de predisparo basándose en el nuevo valor de retardo. Dependiendo del valor de retardo de cuenta atrás de predisparo inicial, puede ser posible, y se prefiere, enviar la orden de disparo varias (en la realización descrita en este caso, tres) veces adicionales antes de la expiración de la cuenta atrás de predisparo.
3. Si no se envía ninguna orden de descarga antes de la expiración de la cuenta atrás de predisparo, el ASIC 30 comprueba que la tensión del bus 18 supera un valor umbral absoluto mínimo. Si no, entonces el detonador 20 se descarga automáticamente; si no, comienza una "cuenta atrás de disparo final" y la interfaz de comunicación del detonador 20 se deshabilita preferiblemente de modo que no puedan recibirse más órdenes. El tiempo de cuenta atrás de disparo final se determina preferiblemente basándose en la calibración descrita anteriormente y un valor de retardo programado en un registro de retardo en el ASIC 30. Al concluir la cuenta atrás de este tiempo de cuenta atrás de disparo final, el ASIC 30 hace que el condensador 26 de disparo se descargue a través del alambre 27 de puente, dando como resultado la detonación.

Se ha descubierto que un sistema construido según las especificaciones preferidas descritas en el presente documento, con hasta mil o más detonadores 20 conectados en red a la máquina 40 de voladura, puede proporcionar de manera fiable una precisión de retardo de temporización de más de 80 ppm (por ejemplo, 0,8 ms con retardo de 10 s).

ES 2 335 101 T3

Descarga

5 Mediante esta orden, la máquina 40 de voladura difunde una petición para descargar todos los detonadores 20 en el bus 18. Un detonador 20 responde de vuelta a esta orden sólo si se ha producido un error de CRC en cuyo caso la respuesta incluye el código de error correspondiente (la orden de descarga no se realiza en este caso). Si no, en respuesta a esta orden, el ASIC 30 de cada detonador 20 detiene cualquier cuenta atrás de disparo que pueda estar avanzando, y hace que el condensador 26 de disparo se descargue.

Verificación de descarga

10 Mediante esta orden, la máquina 40 de voladura difunde una petición para verificar la descarga de todos los detonadores 20 en el bus 18. En respuesta, el ASIC 30 de cada detonador 20 verifica que el condensador 26 de disparo está descargado, respondiendo de vuelta sólo si se ha producido un error de verificación o de CRC (por ejemplo, un error de CRC o las banderas de estatus de calibración, de carga, o de detección de bus no están en alto), en cuyo caso la respuesta incluye el código de error correspondiente.

Descarga única

20 Esta orden es la misma que la orden de descarga analizada anteriormente excepto en que requiere un ID en serie correcto de un detonador 20 específico en el bus 18, detonador que responde de vuelta con su ID en serie, información de retardo y trabajo, banderas de estatus, y cualquier código de error.

25 Un experto en la técnica reconocerá que incluso el sistema particular descrito en este caso está sujeto a numerosas adiciones y modificaciones. Por ejemplo, no todas las órdenes descritas anteriormente se requerirían necesariamente, podrían combinarse, separarse, y si no modificarse de muchos modos, y numerosas órdenes adicionales podrían implementarse. Como algunos de muchos ejemplos, una orden podría implementarse para eliminar todas las banderas de detección de bus de los detonadores 20 en el bus 18, para permitir reinicializar el proceso de detección de bus, una orden podría implementarse para permitir la carga individual y/o verificación de carga de detonadores 20 seleccionados, etc. Además, otros esquemas de sincronización (por ejemplo, usando una tercera línea de reloj en lugar de sincronización dinámica) y/o podrían usarse protocolos si fuera adecuado para una aplicación particular.

30 Aunque la presente invención se ha descrito en el contexto de una realización particular preferida, se entenderá que numerosas variaciones, modificaciones, y otras aplicaciones también están dentro del alcance de la presente invención. Por ejemplo, un experto en la técnica apreciará que otro modo de identificar dispositivos esclavos no identificados en el sistema sería transmitir una orden que incluye la información de identificación de todos los dispositivos individuales conocidos para el dispositivo maestro, estando los dispositivos esclavos configurados y/o programados de modo que cualquier dispositivo esclavo cuya información de identificación no se incluyó con la orden, se identifica ante el dispositivo maestro en respuesta a esta orden. Además, la presente invención también puede emplearse en numerosos sistemas maestro/esclavo diferentes de sistemas de voladura electrónica, tales como en diversas aplicaciones militares, aeroespaciales, o automovilísticas. Por tanto, no se pretende con la descripción detallada anterior de una realización preferida limitar la invención en modo alguno; en su lugar la invención está limitada sólo por las siguientes reivindicaciones.

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un procedimiento para detectar dispositivos esclavos no identificados en un sistema que incluye un dispositivo maestro y una pluralidad de dispositivos esclavos, que comprende las siguientes etapas:
- 10 a) dotar a cada dispositivo esclavo en el sistema de una identificación y cargar una o más identificaciones de dispositivo esclavo en el dispositivo maestro;
 - b) tras la etapa a), conectar al menos un dispositivo esclavo al sistema;
 - 15 c) tras la etapa b), emitir una orden de detección en el sistema desde el dispositivo maestro;
 - d) emitir una secuencia de reloj en el sistema tras emitir dicha orden, comprendiendo dicha secuencia de reloj impulsos de reloj secuenciales correlacionados con posibles identificaciones de dispositivos esclavos de modo que cada impulso de reloj secuencial corresponde a una diferente multiplicidad de posibles identificaciones; y
 - 20 e) tras la etapa c), emitir una respuesta sólo desde cualquier dispositivo esclavo en el sistema que no se haya identificado al dispositivo maestro, incluyendo cada una de dichas respuestas la identificación del dispositivo esclavo.
- 25 2. El procedimiento según la reivindicación 1, que comprende además cargar una o más identificaciones de dispositivo esclavo en el dispositivo maestro.
3. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que dicha respuesta incluye además otra información relativa al dispositivo esclavo.
- 30 4. El procedimiento según la reivindicación 1, que comprende además la etapa de emitir por dicho dispositivo maestro una petición de otra información a cualquier dispositivo esclavo que respondió en la etapa e).
5. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que, si un dispositivo esclavo responde en la etapa e), la etapa c) se repite hasta que ningún dispositivo esclavo responda en la etapa e).
- 35 6. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que la etapa b) incluye la etapa de conectar una pluralidad de dispositivos esclavos al sistema, y dichos sistema y dispositivos esclavos están configurados y/o programados para impedir que más de un dispositivo esclavo responda simultáneamente en la etapa e).
- 40 7. El procedimiento según la reivindicación 6, en el que la etapa a) incluye la etapa de registrar las identificaciones de una pluralidad de dispositivos esclavos.
8. El procedimiento según la reivindicación 7, que comprende además la etapa de ajustar una bandera de estatus de detección en alto en cada dispositivo esclavo cuya identificación se ha registrado, en el que dicha bandera de estatus de detección en alto representa que se considera que un dispositivo esclavo se ha identificado al dispositivo maestro.
- 45 9. El procedimiento según la reivindicación 1, que comprende además la etapa de emitir una secuencia de reloj en el sistema tras emitir dicha orden de detección, comprendiendo dicha secuencia de reloj impulsos de reloj secuenciales.
- 50 10. El procedimiento según la reivindicación 9, que comprende además la etapa de contar por parte de dispositivos esclavos dichos impulsos de reloj secuenciales.
11. El procedimiento según la reivindicación 10, que comprende además la etapa de ajustar una bandera de estatus de detección en alto en cualquier dispositivo esclavo que respondió en la etapa e).
- 55 12. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que dicho sistema es un sistema de voladura electrónico, dicho dispositivo maestro es una máquina (40) de voladura, y dicho dispositivo esclavo es un detonador (20) electrónico.
13. El procedimiento según la reivindicación 10, en el que dichos impulsos de reloj secuenciales están correlacionados con posibles identificaciones de dispositivos esclavos mediante uno o más cálculos que incluyen una comprobación de redundancia cíclica de identificaciones de dispositivos esclavos y parámetros enviados por el dispositivo maestro.
- 60 14. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que dicha orden de detección se emite junto con datos que representan la identificación de todos los dispositivos esclavos para los que se cargaron identificaciones en el dispositivo maestro en la etapa a), y la etapa e) incluye la etapa de recibir por cada dispositivo esclavo dicha orden comprobando dicho datos con respecto a la identificación proporcionada a dicho dispositivo esclavo en la etapa a).
- 65 15. Un dispositivo esclavo para su uso en un sistema que incluye un dispositivo maestro y otros dispositivos esclavos conectados al sistema, en el que el dispositivo maestro se precarga con información de identificación que

ES 2 335 101 T3

5 corresponde a al menos un dispositivo esclavo en el sistema, teniendo dicho dispositivo esclavo una identificación y estando configurado y/o programado para emitir una respuesta al dispositivo maestro que incluye una identificación del dispositivo esclavo en respuesta a una orden de detección desde el dispositivo maestro sólo si dicho dispositivo esclavo no se ha identificado al dispositivo maestro, en el que dicho dispositivo esclavo está configurado y/o programado para
emitir dicha respuesta tras la emisión en el sistema de un valor de reloj correlacionado con la identificación de dicho dispositivo esclavo.

10 16. El dispositivo esclavo según la reivindicación 15, en el que dicho dispositivo esclavo está además configurado y/o programado para incluir otra información junto con dicha respuesta.

17. El dispositivo esclavo según la reivindicación 16, en el que dicho dispositivo esclavo es un detonador (20) electrónico.

15 18. Un sistema que incluye un dispositivo maestro y una pluralidad de dispositivos esclavos conectados cada uno al dispositivo maestro y teniendo cada uno una identificación, en el que el dispositivo maestro se precarga con información de identificación correspondiente a al menos un dispositivo esclavo en el sistema, estando dicho sistema configurado y/o programado de modo que, en respuesta a una orden de detección desde el dispositivo maestro, sólo cualquier dispositivo esclavo conectado al sistema que no se ha identificado al dispositivo maestro envía su identificación al dispositivo maestro; en el que cada uno de dichos dispositivos esclavos está configurado y/o programado para
20 enviar dicha identificación tras la emisión en el sistema de un valor de reloj correlacionado con la identificación de dicho dispositivo esclavo.

19. El sistema según la reivindicación 18, en el que dichos dispositivos esclavos incluyen ajustes de estatus de bandera de detección que pueden ajustarse en alto o bajo.

20 20. El sistema según la reivindicación 19, en el que dicho sistema es un sistema de voladura electrónico, dicho dispositivo maestro es una máquina (40) de voladura, y dichos dispositivos esclavos son detonadores (20) electrónicos.

25 21. El sistema según la reivindicación 18, en el que cada dispositivo esclavo tiene dicha identificación que reside en una memoria fija en el dispositivo esclavo.

35

40

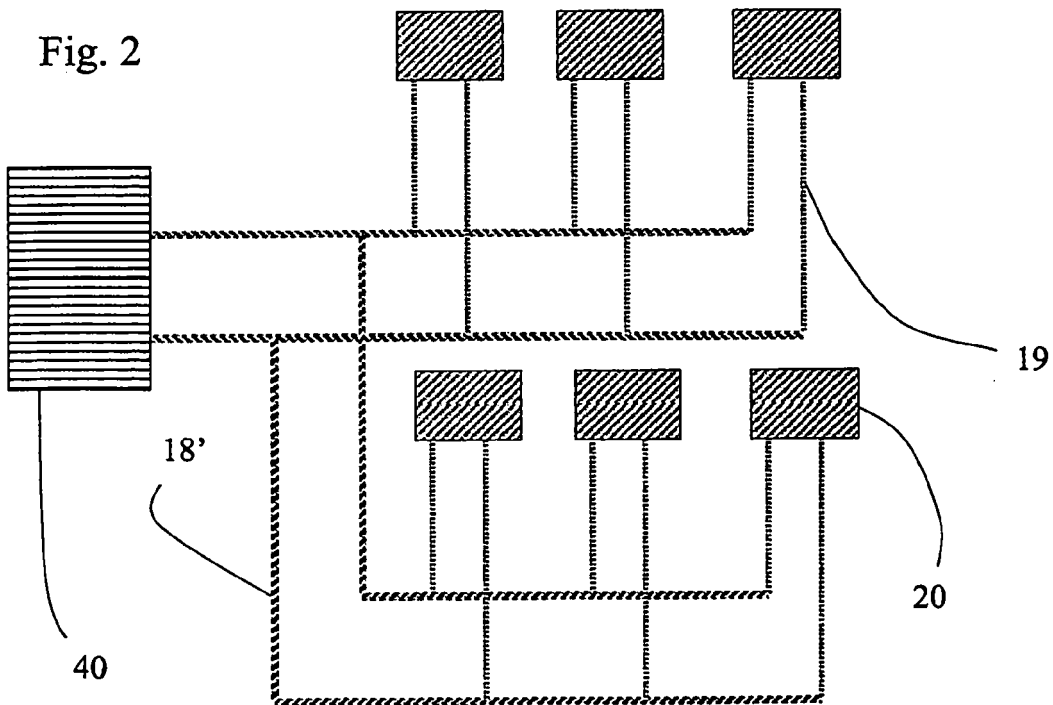
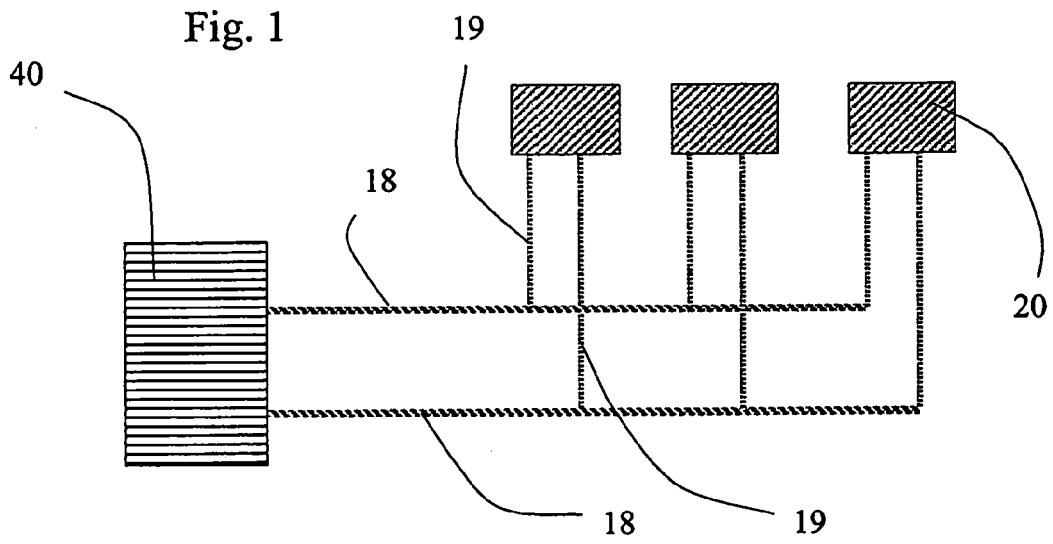
45

50

55

60

65



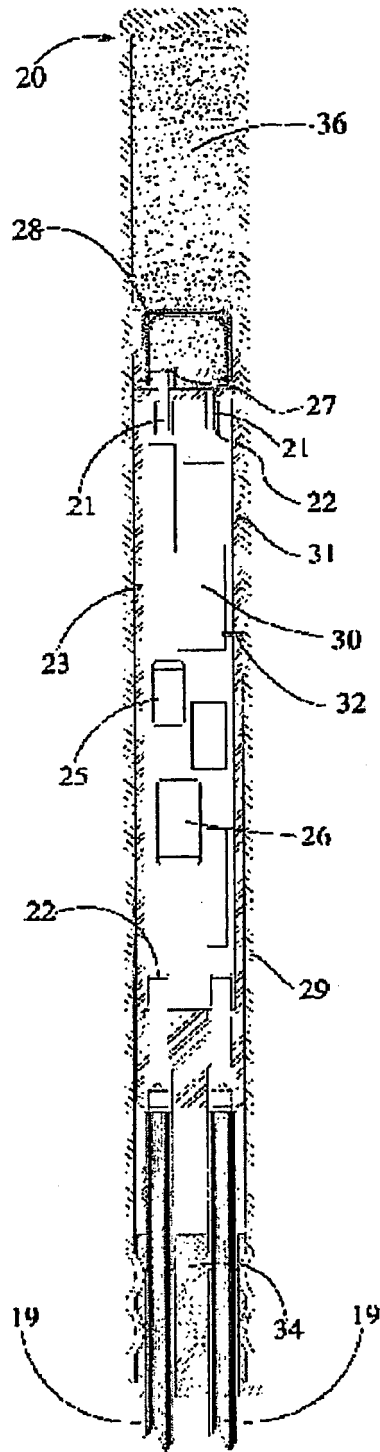


Fig. 3

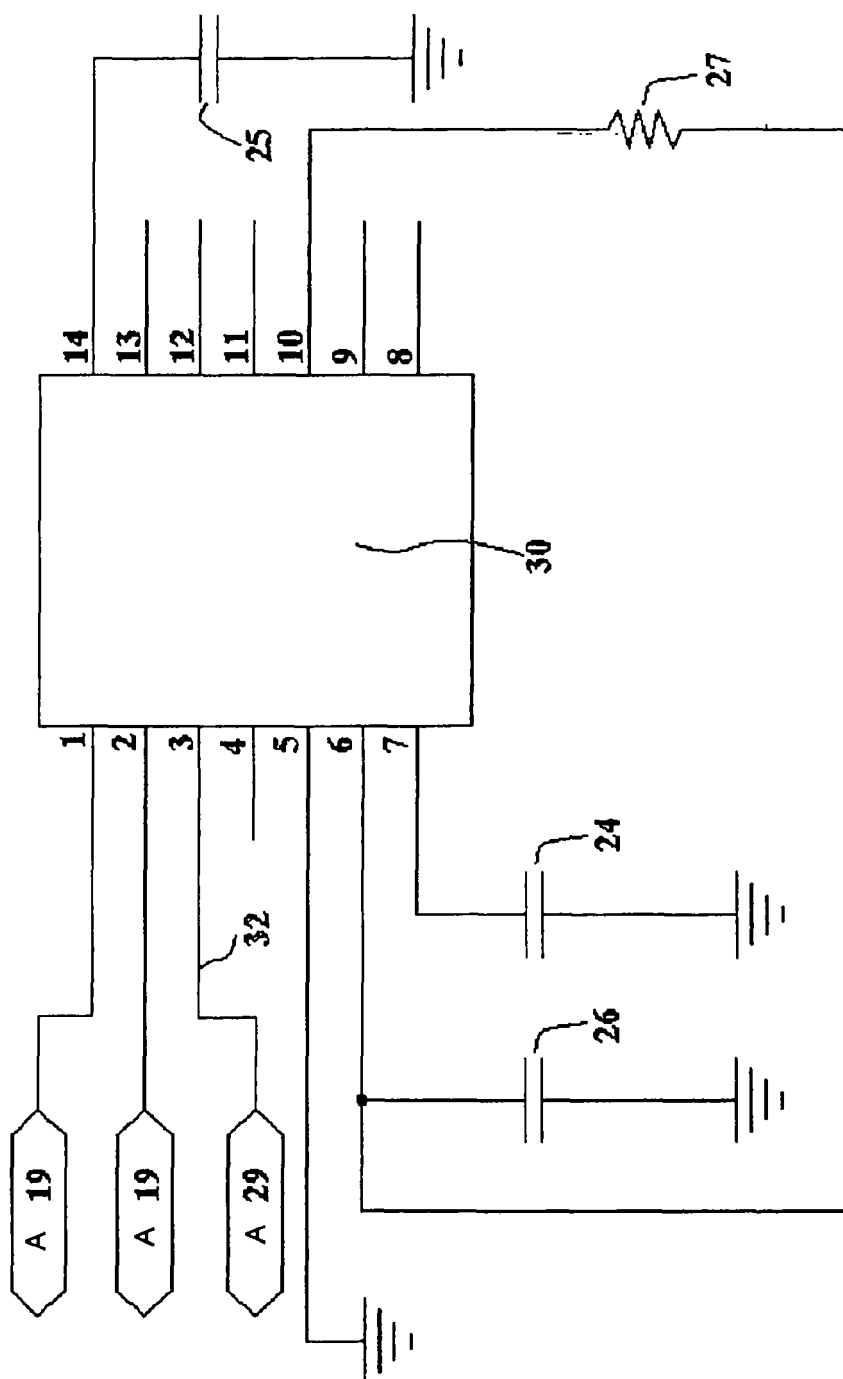
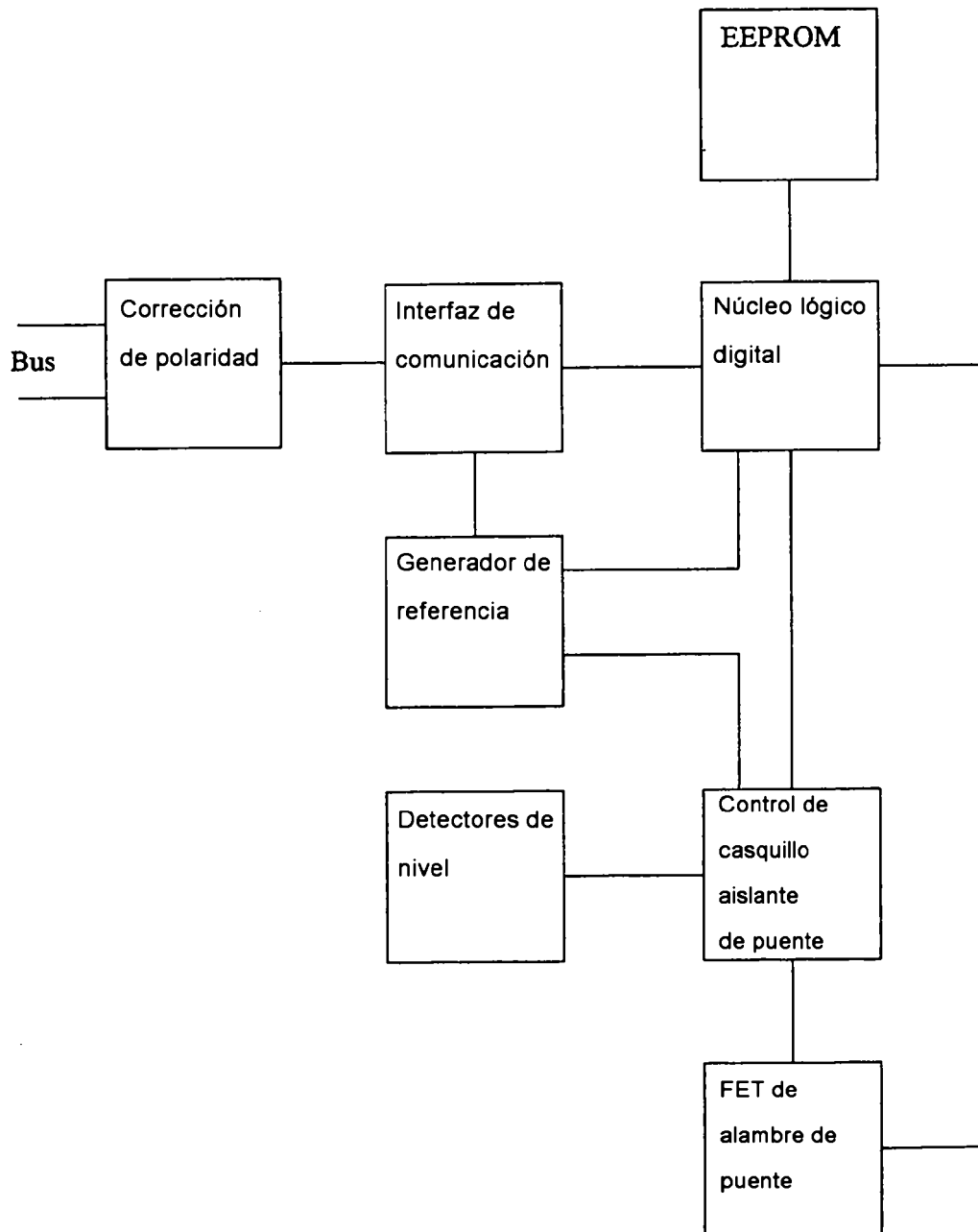


FIG. 4

Fig. 5



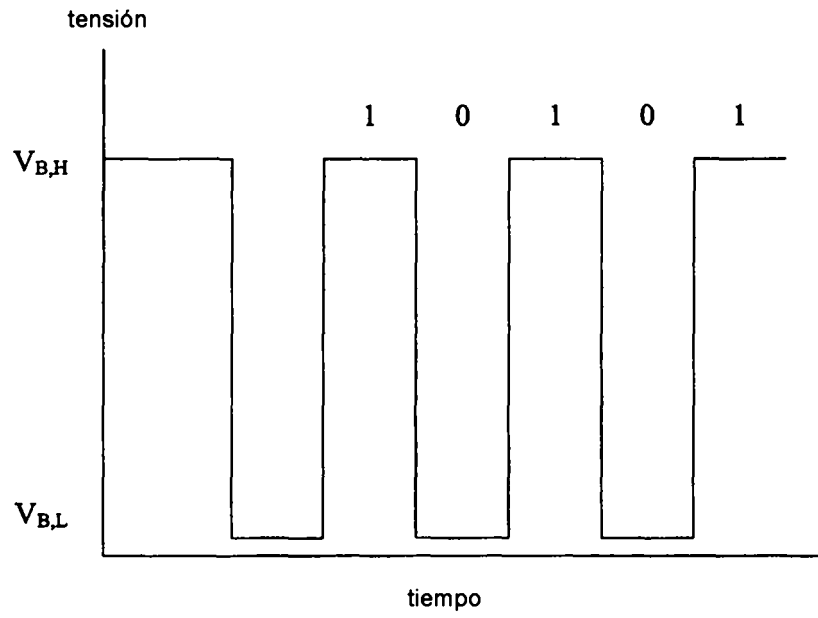


Fig. 6a

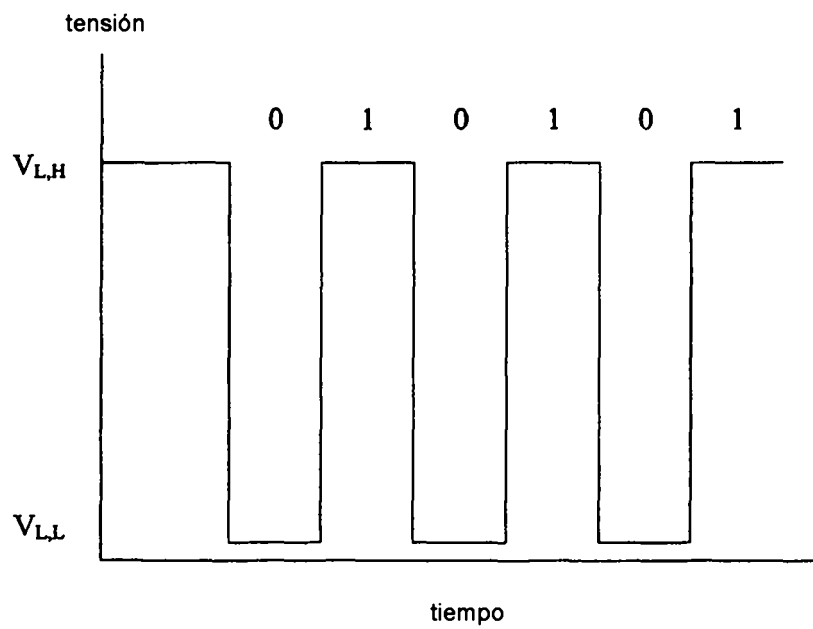


Fig. 6b

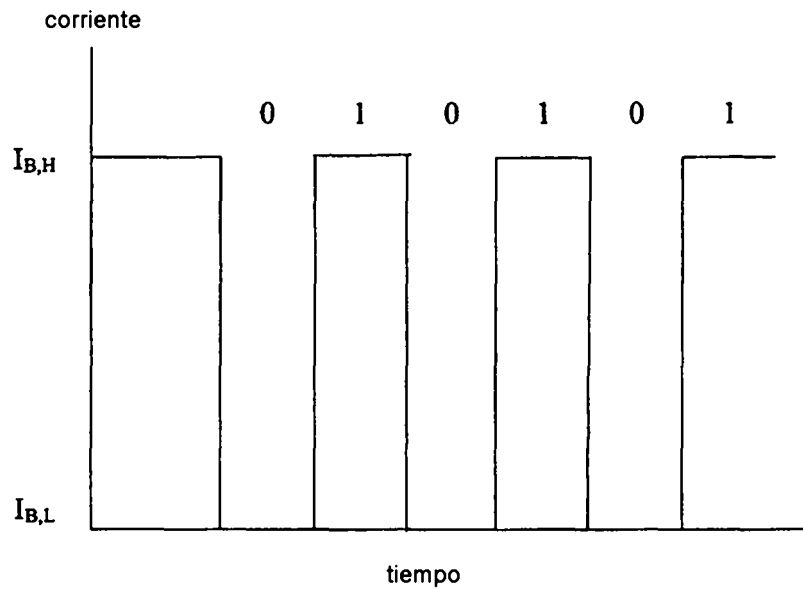


Fig. 7a

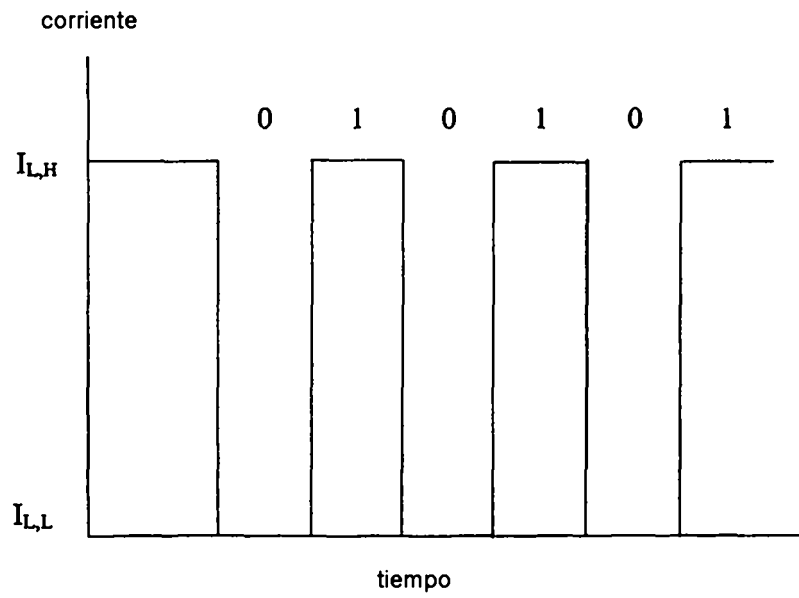


Fig. 7b

Fig. 8

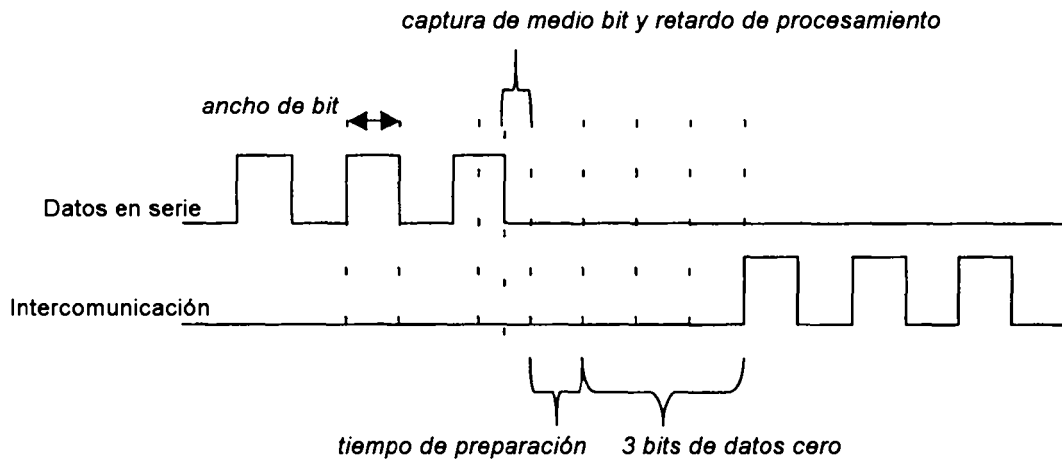


Fig. 9

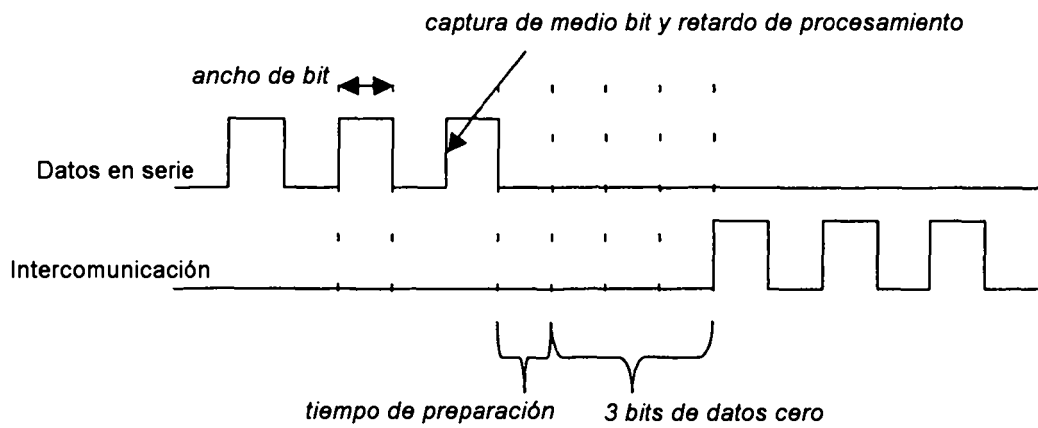
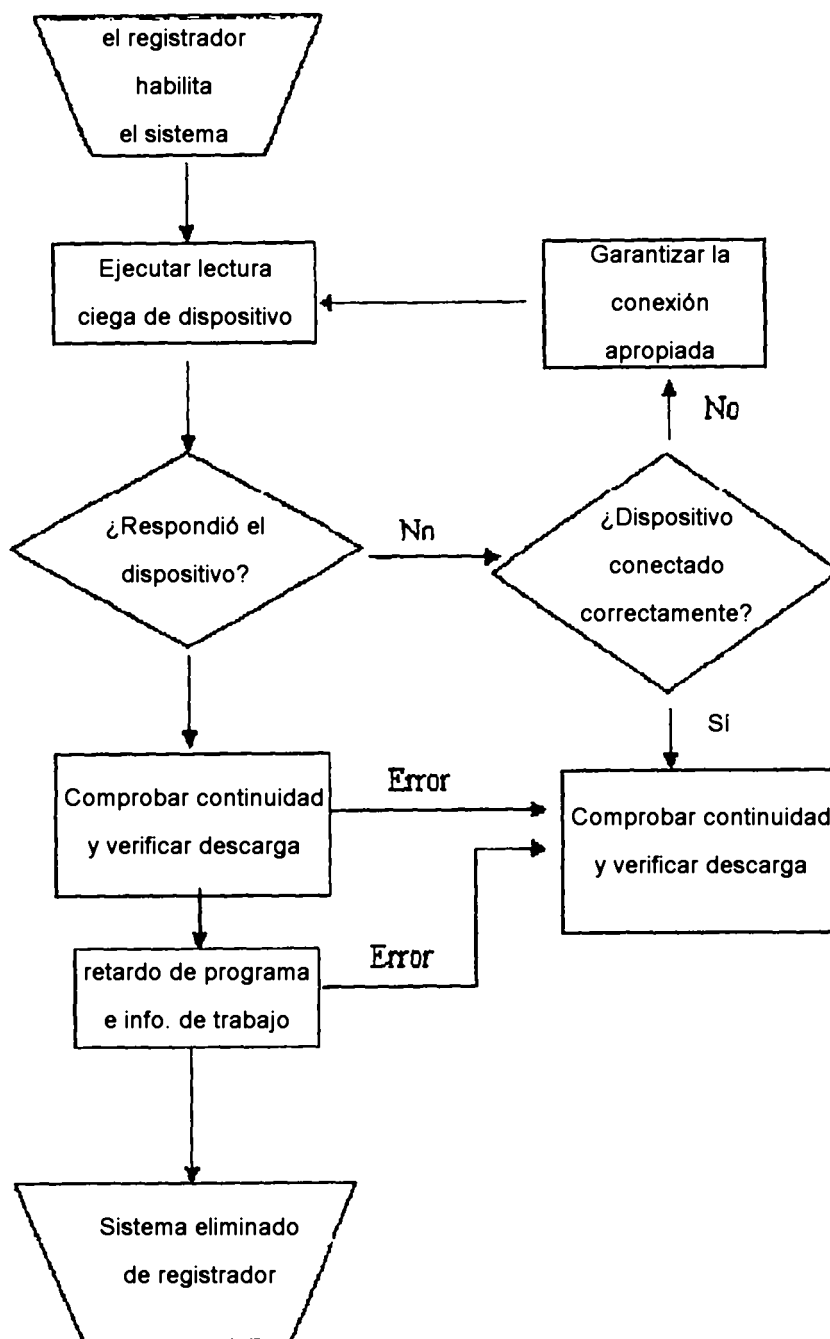


Fig. 10a



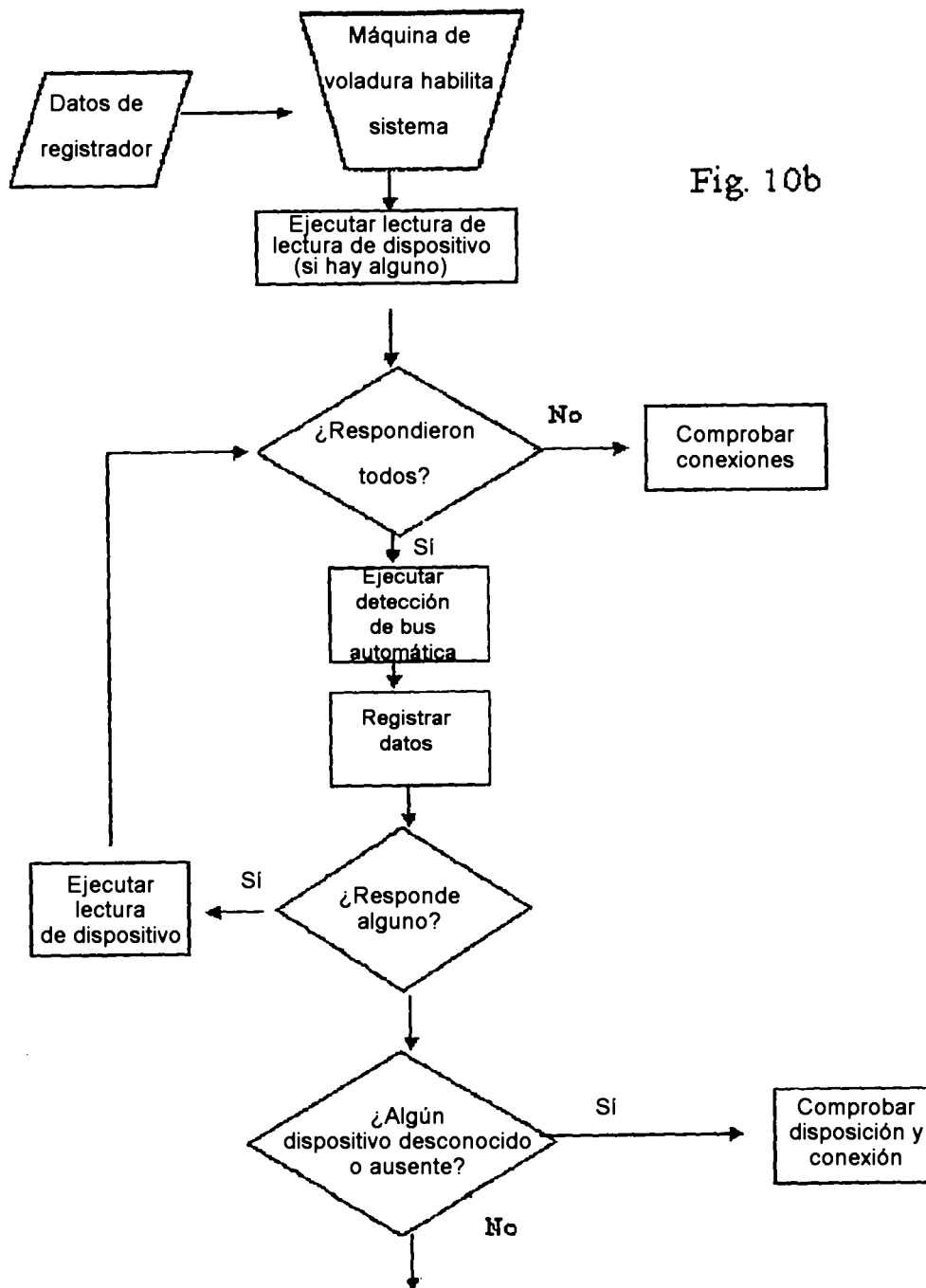
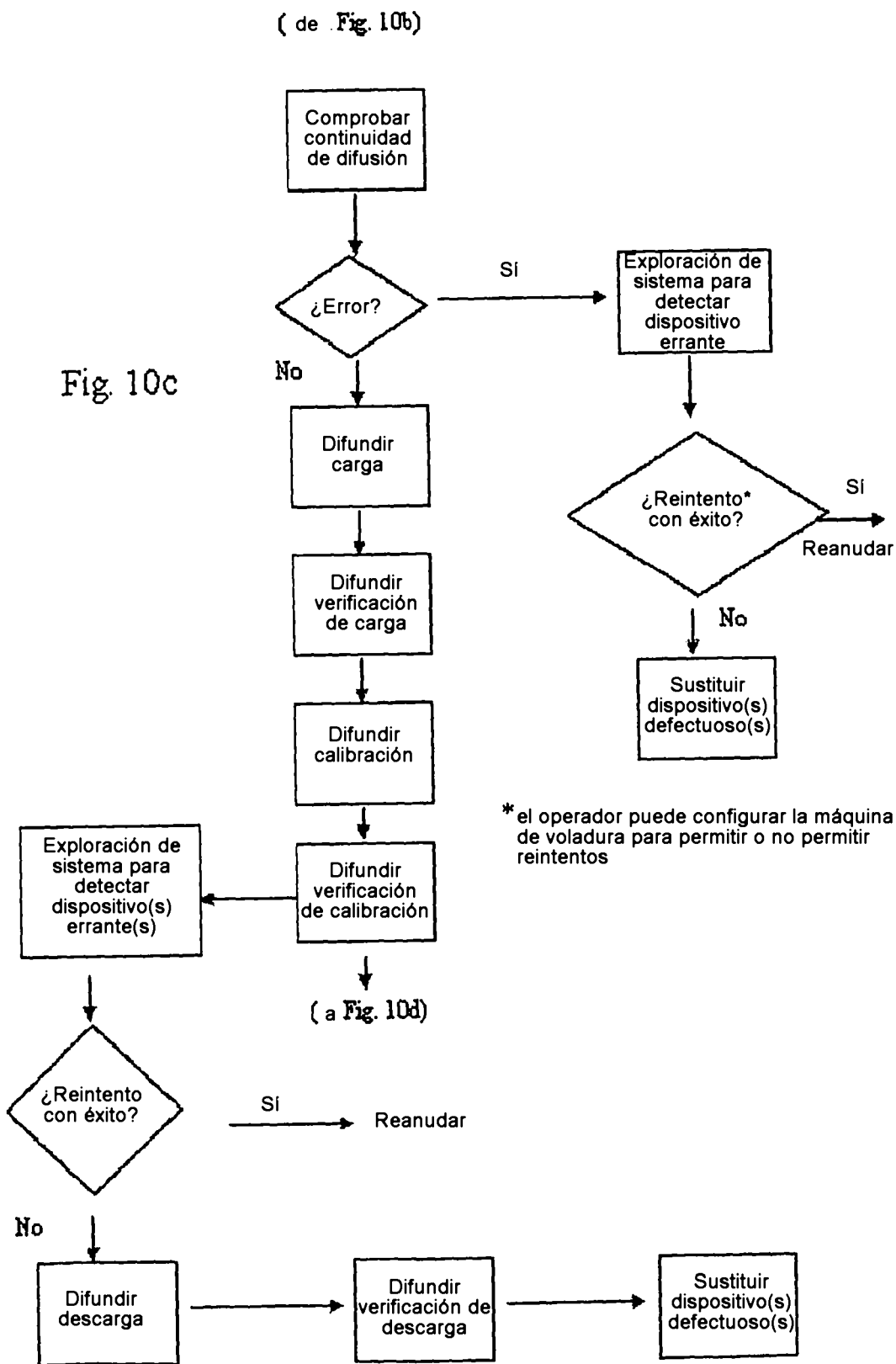


Fig. 10b

(De Fig. 10c)

Fig. 10c



(de Fig. 10c)

Fig. 10d

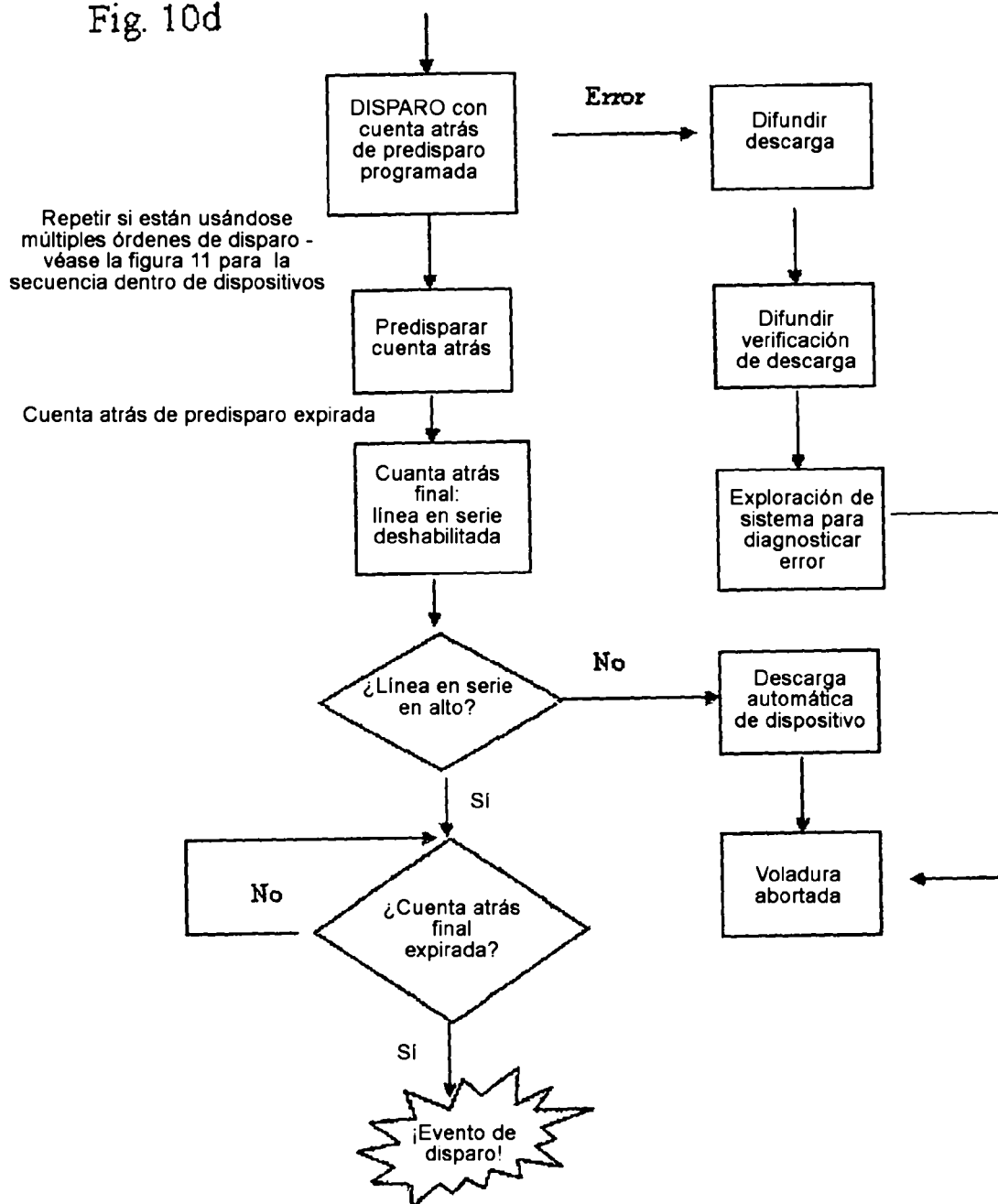


Fig. 11

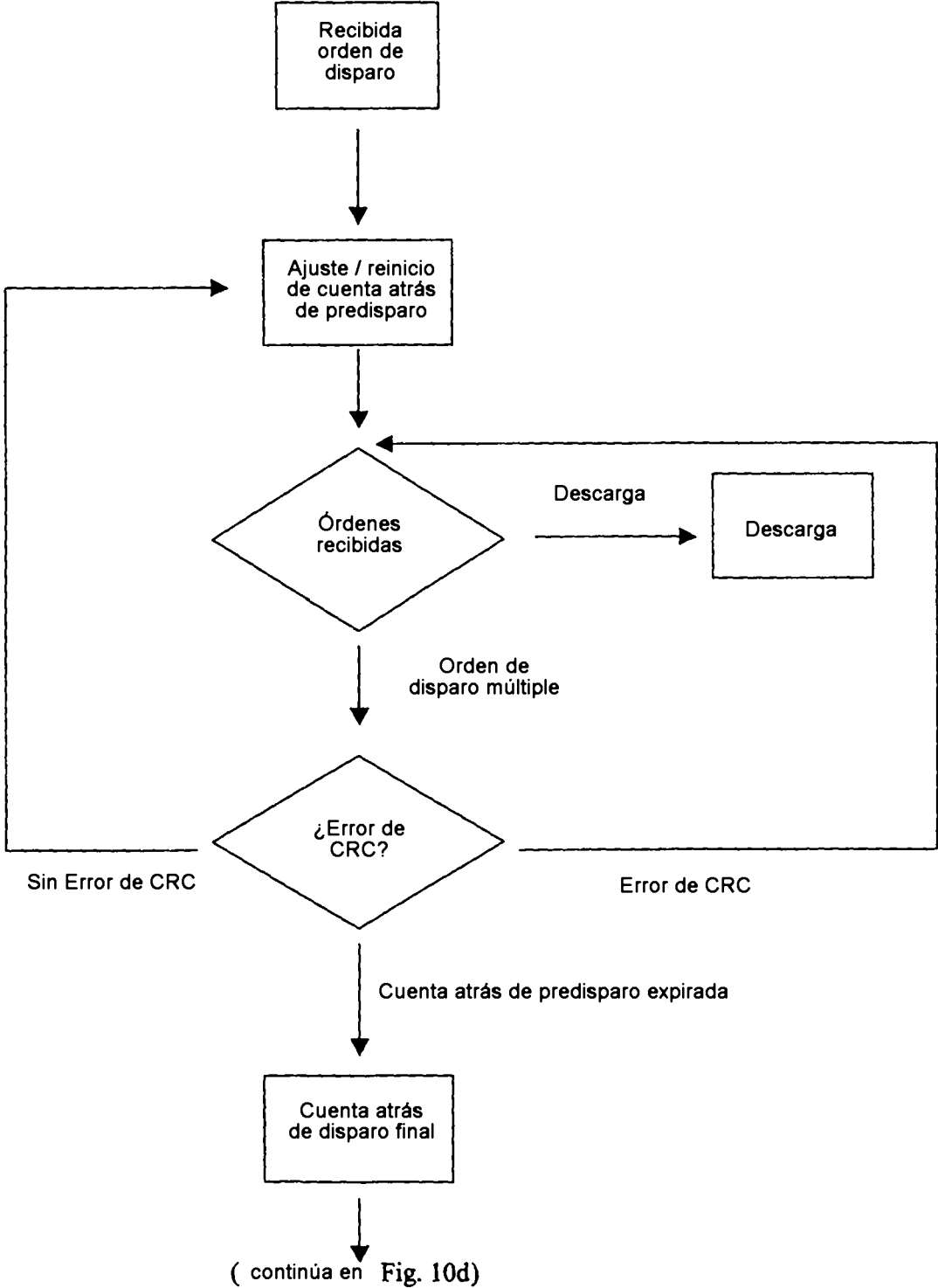


Fig. 12

