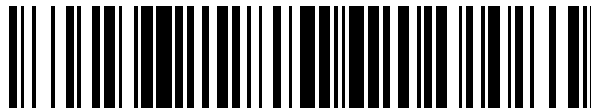


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 708 772**

51 Int. Cl.:

**G21D 3/04** (2006.01)

**H02J 9/06** (2006.01)

**G21D 1/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.12.2013 PCT/US2013/072794**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.08.2014 WO14130123**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.12.2013 E 13875875 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.11.2018 EP 2929614**

54 Título: **Gestión de la energía eléctrica para un sistema de reactor nuclear**

30 Prioridad:

**04.12.2012 US 201261733258 P**  
**12.03.2013 US 201313795911**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**11.04.2019**

73 Titular/es:

**NUSCALE POWER, LLC (100.0%)**  
**1100 NE Circle Blvd., Suite 200**  
**Corvallis, OR 97330, US**

72 Inventor/es:

**HOUGH, TED**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

ES 2 708 772 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**

Gestión de la energía eléctrica para un sistema de reactor nuclear

5 **Antecedentes técnicos**

Esta divulgación describe un sistema de energía eléctrica para un sistema de reactor nuclear.

10 **Antecedentes**

10 Los sistemas de energía eléctrica para sistemas de reactores nucleares pueden ser diseñados y operar bajo varias limitaciones. Por ejemplo, puede haber requisitos reglamentarios asociados con los sistemas de energía relacionados con la seguridad, como los sistemas de corriente continua (CC). Además, puede haber restricciones en el tipo y la construcción de las fuentes de energía, como las baterías utilizadas como fuentes de energía. Por ejemplo, solo ciertos tipos de baterías pueden ser "calificadas" (por ejemplo, cumplir con los requisitos reglamentarios, como aquellos que definen un esquema "IE" según IEEE Std 308-2001, sección 3.7, aprobado por RG 1.32, que define una clasificación de seguridad de los equipos y sistemas eléctricos que son esenciales para el apagado de emergencia del reactor, el aislamiento de la contención, el enfriamiento del núcleo del reactor y la eliminación del calor del reactor y de la contención, o que son esenciales de otra forma para prevenir la liberación significativa de material radioactivo en el medio ambiente) para proporcionar energía a subsistemas particulares. Además, el diseño y la construcción de diseños particulares de reactores nucleares también pueden restringir el diseño y el funcionamiento del sistema de energía eléctrica. Por ejemplo, los diseños de reactores modulares (por ejemplo, reactores nucleares de capacidad múltiple, más pequeña) también pueden restringir el sistema de energía eléctrica. Se pueden encontrar ejemplos de sistemas de energía para estaciones de generación de energía nuclear en el Proyecto de Norma IEEE para Criterios Estándares para Sistemas de Energía de Clase IE para estaciones de Generación de Energía Nuclear, P308/D8.

25 Además, la viabilidad comercial de una central nuclear puede verse afectada debido a un importante capital y costes de operación y mantenimiento asociados con las fuentes de energía eléctrica y la infraestructura que soporta las fuentes. Por lo tanto, existe la necesidad de un sistema eléctrico mejorado para una planta de energía nuclear.

30 **Sumario**

La invención se presenta en el conjunto de reivindicaciones adjuntas.

35 En una implementación general, un sistema de distribución eléctrica para una planta de energía nuclear incluye al menos una fuente de energía de corriente alterna primaria (CA); una primera pluralidad de cargas de CA de una pluralidad de sistemas de reactor nuclear de la planta de energía nuclear, cada una de la primera pluralidad de cargas de CA que incluye una carga eléctrica crítica de la pluralidad de sistemas de reactor nuclear que está configurada para fallar a una posición de seguridad basada en una pérdida de energía eléctrica de la fuente de energía primaria (CA); un primer bus de energía de CA que está acoplado eléctricamente a la al menos una fuente de energía de CA primaria, la primera pluralidad de cargas de CA, y un primer sistema de batería crítica que incluye una o más fuentes de batería no calificadas; una segunda pluralidad de cargas de CA de la pluralidad de sistemas de reactor nuclear, cada una de la segunda pluralidad de cargas de CA que incluye una carga eléctrica no crítica de la pluralidad de sistemas de reactor nuclear; y un segundo bus de energía de CA que está acoplado eléctricamente a la al menos una fuente de energía de CA primaria, la segunda pluralidad de cargas de CA, y un sistema de batería no crítico que incluye una o más fuentes de batería calificadas.

50 En un primer aspecto combinable con la aplicación general, la primera pluralidad de cargas de CA incluyen cargas eléctricas de característica de seguridad de ingeniería (ESF).

En un segundo aspecto combinable con cualquiera de los aspectos anteriores, la una o más fuentes de baterías no calificadas del primer sistema de batería crítico incluyen baterías de ácido de plomo reguladas por válvula (VRLA).

55 En un tercer aspecto combinable con cualquiera de los aspectos anteriores, la segunda pluralidad de cargas de CA incluyen la monitorización activa posterior a un accidente (PAM) de cargas eléctricas y de cargas eléctricas comunes.

En un cuarto aspecto combinable con cualquiera de los aspectos anteriores, la una o más fuentes de batería calificadas incluye baterías de ácido de plomo (VLA) ventiladas.

60 En un quinto aspecto combinable con cualquiera de los aspectos anteriores, el sistema de batería no crítico incluye un primer tren de batería acoplado eléctricamente a un primer canal del segundo bus de energía de CA; y un segundo tren de baterías acoplado eléctricamente a un segundo canal del segundo bus de energía de CA, cada uno de los trenes de baterías primero y segundo incluye una o más fuentes de baterías calificadas que incluyen baterías VLA.

65 Un sexto aspecto combinable con cualquiera de los aspectos anteriores incluye además un tercer tren de batería acoplado eléctricamente a ambos de los primero y segundo canales del segundo bus de energía de CA, el tercer tren de batería que incluye una o más fuentes de batería calificadas que incluyen baterías VLA.

- 5 En un séptimo aspecto combinable con cualquiera de los aspectos anteriores, el primer sistema de batería crítico está dimensionado para suministrar energía de CA a la primera pluralidad de cargas de CA durante aproximadamente 24 horas basado en una pérdida de energía eléctrica de la fuente de energía de CA primaria.
- 10 En un octavo aspecto combinable con cualquiera de los aspectos anteriores, los sistemas de baterías no críticos están dimensionados para suministrar energía de CA a la segunda pluralidad de cargas de CA durante aproximadamente 72 horas basado en una pérdida de energía eléctrica de la fuente de energía de CA primaria.
- 15 Un noveno aspecto combinable con cualquiera de los aspectos anteriores incluye, además, un tercer bus de energía de CA que está acoplado eléctricamente a la fuente de energía de CA primaria, la primera pluralidad de cargas de CA, y un segundo sistema crítico de batería que incluye una o más fuentes de batería no calificadas.
- 20 En un décimo aspecto combinable con cualquiera de los aspectos anteriores, cada uno de los sistemas de energía nuclear incluye un reactor nuclear modular refrigerado pasivamente.
- 25 En otra implementación general, un método para proporcionar energía a una planta de energía nuclear incluye proporcionar al menos una fuente de energía de corriente alterna primaria (CA); proporcionando una primera pluralidad de cargas de CA de una pluralidad de sistemas de reactor nuclear de la planta de energía nuclear, cada una de la primera pluralidad de cargas de CA incluye una carga eléctrica crítica de la pluralidad de sistemas de reactor nuclear que está configurado para fallar a una posición de seguridad en una pérdida de energía eléctrica de la fuente de energía primaria (CA); acoplar eléctricamente un primer bus de energía de CA a la fuente de energía de CA primaria, la primera pluralidad de cargas de CA y un primer sistema de batería crítica que incluye una o más fuentes de batería no calificadas; proporcionar una segunda pluralidad de cargas de CA de la pluralidad de sistemas de reactor nuclear, cada una de la segunda pluralidad de cargas de CA que incluye una carga eléctrica no crítica de la pluralidad de sistemas de reactor nuclear; y acoplar eléctricamente un segundo bus de energía de CA a la segunda pluralidad de cargas de CA y un sistema de batería no crítico que incluye una o más fuentes de batería calificadas.
- 30 En un primer aspecto combinable con la aplicación general, la primera pluralidad de cargas de CA incluyen ingeniería característica de seguridad (ESF) cargas eléctricas.
- 35 En un segundo aspecto combinable con cualquiera de los aspectos anteriores, la una o más fuentes de baterías no calificados del primer sistema de batería crítico incluyen baterías de ácido de plomo regulada por válvula (VRLA).
- 40 En un tercer aspecto combinable con cualquiera de los aspectos anteriores, la segunda pluralidad de cargas de CA incluyen monitorización activa posterior a un accidente (PAM) de las cargas eléctricas y cargas eléctricas comunes.
- 45 En un cuarto aspecto combinable con cualquiera de los aspectos anteriores, el uno o más fuentes de batería calificadas incluye baterías de ácido de plomo (VLA) ventilados.
- 50 Un quinto aspecto combinable con cualquiera de los aspectos anteriores incluye además acoplar eléctricamente un primer tren de la batería del sistema de batería no crítico a un primer canal del segundo bus de energía de CA; y acoplar eléctricamente un segundo tren de baterías del sistema de baterías no críticas a un segundo canal del segundo bus de energía de CA, cada uno de los trenes de baterías primero y segundo incluye una o más fuentes de baterías calificadas que incluyen baterías VLA.
- 55 Un sexto aspecto combinable con cualquiera de los aspectos anteriores incluye además acoplar eléctricamente un tercer tren de la batería del sistema de batería no crítica a ambos de los primero y segundo canales del segundo bus de energía de CA, el tercer tren de batería que incluye una o más fuentes de batería calificadas que incluyen baterías VLA.
- 60 Un séptimo aspecto combinable con cualquiera de los aspectos anteriores incluye además dimensionar el primer sistema crítico de batería para suministrar energía de CA a la primera pluralidad de cargas de CA durante aproximadamente 24 horas basado en una pérdida de energía eléctrica de la fuente de energía de CA primaria.
- 65 Un octavo aspecto combinable con cualquiera de los aspectos anteriores incluye además dimensionar los sistemas de baterías no críticos para suministrar energía de CA a la segunda pluralidad de cargas de CA durante aproximadamente 72 horas basado en una pérdida de energía eléctrica de la fuente de energía de CA primaria.
- Un noveno aspecto combinable con cualquiera de los aspectos anteriores incluye además acoplar eléctricamente un tercer bus de energía de CA a la fuente de energía de CA primaria, la primera pluralidad de cargas de CA, y un segundo sistema crítico de batería que incluye una o más fuentes de batería no calificadas.
- Un décimo aspecto combinable con cualquiera de los aspectos anteriores incluye además la detección de una pérdida de energía de CA primaria de la al menos una fuente de energía de CA primaria; ajustar al menos una porción de la primera pluralidad de cargas de CA a sus respectivas posiciones de seguridad; suministrar energía de CA a la porción de la primera pluralidad de cargas de CA de una o más fuentes de batería no calificadas a través del primer bus de

energía de CA; y suministrar energía de CA a la segunda pluralidad de cargas de CA de una o más fuentes de batería calificadas a través del segundo bus de energía de CA.

5 Un undécimo aspecto combinable con cualquiera de los aspectos anteriores incluye además la detección de una restauración de la energía de CA primaria a partir de la al menos una fuente de energía de CA primaria; suministrar energía de CA a la porción de la primera pluralidad de cargas de CA desde la al menos una fuente de energía de CA primaria a través del primer bus de energía de CA; y suministrar energía de CA a la segunda pluralidad de cargas de CA desde la al menos una fuente de energía de CA primaria a través del segundo bus de energía de CA.

10 En otra implementación general, un sistema de energía eléctrica para una instalación de energía nuclear incluye un bus de energía de corriente alterna activo (CA) configurado para ser acoplado eléctricamente a una pluralidad de cargas de característica de seguridad diseñadas (ESF) de una pluralidad de sistemas de energía nuclear, cada una de las cargas ESF configuradas para fallar a una posición segura ante la pérdida de la energía de CA primaria; un sistema de batería crítica acoplado eléctricamente al bus de CA activo, el sistema de batería crítica que incluye una pluralidad de baterías de ácido de plomo reguladas por válvula (VRLA); y una fuente de energía de CA primaria acoplada eléctricamente al bus de CA activo.

20 Un primer aspecto combinable con la aplicación general incluye además un bus de energía de CA común configurado para ser acoplado eléctricamente a una pluralidad de cargas eléctricas (PAM) de monitorización después de un accidente activa incluidas y cargas eléctricas comunes de la pluralidad de sistemas de energía nuclear; y un sistema de batería pasiva acoplado eléctricamente al bus de CA común, el sistema de batería pasiva que incluye una o más baterías de ácido de plomo ventiladas (VRLA).

25 En un segundo aspecto combinable con cualquiera de los aspectos anteriores, el sistema de batería crítico incluye una primera porción de la pluralidad de baterías VRLA y una segunda porción de la pluralidad de baterías VRLA.

30 En un tercer aspecto combinable con cualquiera de los aspectos anteriores, cada una de las porciones primera y segunda de la pluralidad de baterías VRLA acopladas eléctricamente por separado al bus de energía de CA activo a través de los interruptores respectivos.

35 Una implementación diversa de un sistema de energía eléctrica para un sistema de reactor nuclear de acuerdo con la presente divulgación puede incluir una, algunas o todas las siguientes características. Por ejemplo, los costes de mantenimiento (por ejemplo, asociados con el cambio, la prueba y otros) de las baterías IE calificadas (por ejemplo, baterías de tipo ácido de plomo con ventilación (VLA)) pueden reducirse significativamente. Además, los costes asociados con la compra y el almacenamiento de dichas baterías IE calificadas pueden reducirse significativamente. Como otro ejemplo, los requisitos de espacio pueden reducirse eliminando algunas de las baterías IE calificadas (por ejemplo, utilizando baterías de ácido de plomo reguladas por válvula (VRLA) en lugar de baterías VLA). Además, en algunos sistemas de reactores nucleares modulares que utilizan refrigeración pasiva, todas las estructuras, sistemas y componentes de funciones de seguridad (SSC) pueden fallar a su estado seguro al perder toda la energía de CA y CC sin un impacto adverso en el sistema de energía nuclear. Como otro ejemplo, el sistema de eliminación de calor por decaimiento o enfriamiento del núcleo de emergencia (ECC) (por ejemplo, sistemas de circulación natural) puede prevenir el daño del núcleo. Además, el enfriamiento a largo plazo después de un accidente sin la acción del operador durante un período de tiempo indefinido puede ser parte integral del diseño del reactor modular. Como otro ejemplo, el diseño del reactor modular puede incluir un sistema eléctrico externo en combinación con características integradas del sistema de energía nuclear que casi pueden eliminar el impacto de una pérdida de energía externa (LOOP): capacidad de desviación completa para las turbinas principales; la "carga propia" completa (todas las unidades en funcionamiento) es aproximadamente el 50 % de un módulo y puede ser mantenida por uno de varios (por ejemplo, ocho) transformadores auxiliares (UAT) de la unidad; y tras la pérdida de la red o la carga fuera del sitio, un módulo de reactor puede retroceder para mantener la carga propia mientras permite que los otros módulos inicien una parada controlada.

55 Una implementación diversa de un sistema de energía eléctrica para un sistema de reactor nuclear según la presente divulgación puede incluir una, algunas o todas las siguientes características. Por ejemplo, el sistema de energía eléctrica puede ayudar a mejorar la seguridad del sistema o planta del reactor nuclear al eliminar un gran conjunto de objetivos. Además, el sistema de energía eléctrica puede minimizar los costes de capital, así como los costes de operación y mantenimiento de un sistema o planta de energía nuclear que están asociados, por ejemplo, con un edificio de reactor y baterías asociadas con el sistema de energía eléctrica. Como otro ejemplo, el sistema de energía eléctrica puede soportar la dotación de personal de la sala de control del reactor nuclear simplificando la acción operativa. Además, el sistema de energía eléctrica puede mejorar una defensa en profundidad al proporcionar, por ejemplo, diversas fuentes de energía de CC. Como otro ejemplo más, el sistema de energía eléctrica puede mejorar la confiabilidad al proporcionar esquemas redundantes para cada bus de CA compartido (por ejemplo, como lo define IEEE Std 308-2001, sección 3.7, respaldado por RG 1.32). Como un ejemplo adicional, el sistema de energía eléctrica puede soportar la regla de mantenimiento (por ejemplo, 10 CFR § 50.65) al eliminar y/o minimizar los desafíos a los sistemas de seguridad. El sistema de energía eléctrica también puede simplificar el apagón de la estación.

65 Una implementación diversa de un sistema de energía eléctrica para un sistema de reactor nuclear según la presente

descripción también puede incluir una, algunas o todas las siguientes características. Por ejemplo, el sistema de energía eléctrica puede soportar un sistema de reactor nuclear pasivo, como un sistema que es esencialmente autónomo o autosuficiente, que se basa en fuerzas naturales, como la gravedad o la circulación natural, o la energía almacenada, como las baterías, inercia de rotación y fluidos comprimidos, o una energía inherente al sistema en sí por su energía motriz, y válvulas de retención y válvulas de alimentación sin ciclo (que pueden cambiar de estado para realizar sus funciones deseadas, pero no requieren un cambio de estado posterior o disponibilidad continua de energía para mantener sus funciones previstas). Como otro ejemplo, el sistema de energía eléctrica puede minimizar un número de celdas de batería de ácido de plomo ventilado (VLA, por sus siglas en inglés) que se usan en el sistema de energía debido a sus calificaciones para aplicaciones de reactores nucleares según el estándar 535 de IEEE.

Los detalles de una o más implementaciones de la materia objeto de la presente divulgación se exponen en los dibujos adjuntos y la descripción siguiente. Otras características, aspectos y ventajas de la materia objeto se harán evidentes a partir de la descripción, los dibujos y las reivindicaciones.

### 15 Descripción de dibujos

La figura 1 ilustra un diagrama de bloques de una implementación de ejemplo de un sistema de energía nuclear que incluye múltiples reactores de energía nuclear y un sistema de distribución de energía eléctrica;

La figura 2 ilustra un diagrama de bloques de un subsistema de distribución de energía eléctrica para un sistema de energía nuclear que utiliza una fuente de energía de respaldo compartida;

La figura 3 ilustra un diagrama de bloques de un subsistema de distribución de energía eléctrica para un sistema de energía nuclear que utiliza una fuente de energía de respaldo compartida y redundante para cargas críticas;

La figura 4 ilustra un diagrama de bloques de un subsistema de distribución de energía eléctrica para un sistema de energía nuclear que utiliza una fuente de energía de respaldo compartida para cargas no críticas;

Las figuras 5A-5B ilustran un diagrama de bloques de una ilustración ampliada de una implementación de ejemplo de un sistema de distribución de energía eléctrica para un sistema de energía nuclear; y

La figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra un método de ejemplo para operar un sistema de distribución de energía eléctrica para un sistema de energía nuclear.

### 30 Descripción detallada

La figura 1 ilustra una implementación de ejemplo de un sistema de energía nuclear 100 que incluye múltiples sistemas de reactor nuclear 150 y un sistema de distribución de energía eléctrica. En algunas implementaciones, el sistema 100 puede proporcionar un sistema de distribución de energía eléctrica que sea operable para suministrar energía eléctrica a sistemas críticos (por ejemplo, una o más cargas eléctricas con características de seguridad diseñadas (ESF)) respaldadas por un sistema de batería no calificado (por ejemplo, baterías tipo VRLA) al mismo tiempo que suministran energía eléctrica a sistemas no críticos (por ejemplo, cargas de monitorización activa posterior a un accidente (PAM) y cargas comunes en el sistema de energía nuclear 100) respaldadas por un sistema de batería calificado (por ejemplo, baterías tipo VLA). En algunas implementaciones, las cargas de ESF pueden diseñarse para fallar, por ejemplo, al perder la alimentación primaria (CA), a sus respectivas posiciones de seguridad. Además, en algunas implementaciones, las cargas de ESF pueden compartir un bus principal y un bus de respaldo (o redundante). El bus principal y el bus de respaldo pueden ser soportados (por ejemplo, acoplados eléctricamente a) por el sistema de batería no calificado o crítico. En algunas implementaciones, los sistemas no críticos también pueden incluir cargas de CA que comparten un bus común que es compatible (por ejemplo, acoplado eléctricamente) al sistema de batería calificado o compartido. En algunos aspectos, el sistema de batería crítica puede dimensionarse para entregar energía a las cargas críticas (por ejemplo, cargas que requieren energía motriz o de control para el sistema de reactor nuclear) a través de los buses compartidos y redundantes durante un período de 24 horas. En algunos aspectos, el sistema de batería compartida puede dimensionarse para entregar energía a las cargas no críticas a través del bus común durante un período de 72 horas.

En la figura 1, el sistema incluye múltiples sistemas de reactor nuclear 150 que están acoplados eléctricamente a un sistema de energía eléctrica 135. Aunque solo se muestran tres sistemas de reactores nucleares 150 en este ejemplo, puede haber menos o más sistemas 150 que estén incluidos dentro o acoplados al sistema de energía nuclear 100 (por ejemplo, 6, 9, 12 u otros). En una implementación preferida, puede haber doce sistemas de reactor nuclear 150 incluidos dentro del sistema 100, con uno o más de los sistemas de reactor nuclear 150 que incluyen un reactor modular de agua ligera, como se describe más adelante.

Con respecto a cada sistema de reactor nuclear 150, un núcleo de reactor 20 está posicionado en una porción inferior de un recipiente de reactor en forma cilíndrica o en forma de cápsula 70. El núcleo del reactor 20 incluye una cantidad de material fisionable que produce una reacción controlada que puede ocurrir durante un período de quizás varios años o más. Aunque no se muestra explícitamente en la figura 1, se pueden emplear barras de control para controlar la velocidad de fisión dentro del núcleo 20 del reactor. Las barras de control pueden incluir plata, indio, cadmio, boro, cobalto, hafnio, disprosio, gadolinio, samario, erbio y europio, o sus aleaciones y compuestos. Sin embargo, estos son solo algunos de los muchos materiales posibles de las barras de control. En los reactores nucleares diseñados con sistemas operativos pasivos, las leyes de la física se emplean para garantizar que el funcionamiento seguro del reactor nuclear se mantenga durante el funcionamiento normal o incluso en una condición de emergencia sin la intervención

o monitorización del operador, al menos durante un período de tiempo predefinido.

En implementaciones, un recipiente de contención en forma de cilindro o en forma de cápsula 10 rodea la vasija del reactor 70 y está parcial o completamente sumergida en una piscina del reactor, tales como debajo de la flotación 90, dentro del compartimiento del reactor 5. El volumen entre el recipiente del reactor 70 y el recipiente de contención 10 se puede evacuar parcial o completamente para reducir la transferencia de calor desde el recipiente del reactor 70 al conjunto del reactor. Sin embargo, en otras implementaciones, el volumen entre el recipiente del reactor 70 y el recipiente de contención 10 se puede llenar al menos parcialmente con un gas y/o un líquido que aumenta la transferencia de calor entre los recipientes del reactor y de contención. El recipiente de contención 10 puede descansar sobre una falda (no mostrada) en la base del compartimiento del reactor 5.

En una implementación particular, el núcleo de reactor 20 está sumergida dentro de un líquido, tal como agua, que puede incluir de boro u otro aditivo, que se eleva en el canal 30 después de hacer contacto con una superficie del núcleo del reactor. En la figura 1, el movimiento ascendente del refrigerante caliente está representado por flechas 40 dentro del canal 30. El refrigerante se desplaza sobre la parte superior de los intercambiadores de calor 50 y 60 y se empuja hacia abajo por convección a lo largo de las paredes internas del recipiente del reactor 70, permitiendo así que el refrigerante imparta calor a los intercambiadores de calor 50 y 60. Después de alcanzar una porción inferior del recipiente del reactor, el contacto con el núcleo del reactor 20 da como resultado el calentamiento del refrigerante, que nuevamente se eleva a través del canal 30.

Aunque los intercambiadores de calor 50 y 60 se muestran como dos elementos distintos en la figura 1, los intercambiadores de calor 50 y 60 pueden representar cualquier número de bobinas helicoidales que se enrollan alrededor de al menos una porción del canal 30. En otra implementación, un número diferente de bobinas helicoidales puede enrollarse alrededor del canal 30 en una dirección opuesta, en la que, por ejemplo, una primera bobina helicoidal se enrolla helicoidalmente en sentido contrario a las agujas del reloj, mientras que una segunda bobina helicoidal se enrolla helicoidalmente en sentido horario. Sin embargo, nada impide el uso de intercambiadores de calor con configuraciones y/o orientaciones diferentes, y las implementaciones no están limitadas a este respecto. Además, aunque se muestra que la línea de agua 80 está colocada justo por encima de las porciones superiores de los intercambiadores de calor 50 y 60, en otras implementaciones, el recipiente del reactor 70 puede incluir cantidades menores o mayores de agua.

En la figura 1, el funcionamiento normal del módulo del reactor nuclear procede de una manera en la que el refrigerante caliente asciende a través del canal 30 y hace contacto con los intercambiadores de calor 50 y 60. Después de entrar en contacto con los intercambiadores de calor 50 y 60, el refrigerante se hunde hacia el fondo del recipiente 90 del reactor de una manera que induce un proceso de sifón térmico. En el ejemplo de la figura 1, el refrigerante dentro del recipiente del reactor 70 permanece a una presión por encima de la presión atmosférica, lo que permite que el refrigerante mantenga una temperatura alta sin vaporizar (por ejemplo, hervir).

Como líquido refrigerante dentro de los intercambiadores de calor 50 y 60 aumenta su temperatura, el refrigerante puede comenzar a hervir. A medida que el refrigerante dentro de los intercambiadores de calor 50 y 60 comienza a hervir, se puede usar refrigerante vaporizado, como el vapor, para impulsar una o más turbinas que convierten la energía potencial térmica del vapor en energía eléctrica. Después de la condensación, el refrigerante regresa a lugares cercanos a la base de los intercambiadores de calor 50 y 60.

Durante el funcionamiento normal del módulo de reactor de la figura 1, varios parámetros de rendimiento del reactor pueden ser monitoreados por medio de sensores ubicados en varias ubicaciones dentro del módulo. Los sensores dentro del módulo del reactor pueden medir las temperaturas del sistema del reactor, las presiones del sistema del reactor, la presión del recipiente de contención, los niveles de refrigerante primario y/o secundario del reactor, el flujo de neutrones del núcleo del reactor y/o la fluencia de neutrones del núcleo del reactor. Las señales que representan estas mediciones pueden informarse de manera externa al módulo del reactor a través de un conducto a un panel de interfaz del compartimiento del reactor (no mostrado).

Uno o más de los componentes y sensores de cada sistema de reactor nuclear 150 puede haber cargas críticas, tales como, por ejemplo, cargas activas ESF tales como válvulas de aislamiento de la contención, válvulas de evacuación de calor residual (DHR), otras válvulas accionables y equipos, así como sensores. En algunos aspectos, dichos componentes EFS pueden estar diseñados para fallar en su posición de seguridad ante la pérdida de la energía de control o la energía motriz.

Además, uno o más de los componentes y sensores de cada sistema de reactor nuclear 150 puede haber cargas no críticas, tales como, por ejemplo, PAM activo y cargas comunes que, en algunas implementaciones, pueden requerir un soporte de energía "IE" con un respaldo de batería calificado (por ejemplo, bajo las regulaciones pertinentes) (por ejemplo, baterías tipo VLA). Las cargas de PAM pueden incluir, por ejemplo, la indicación de posición de la válvula del sistema de accionamiento ESF, la temperatura del sistema de refrigerante del reactor, la presión del sistema de refrigerante del reactor, el nivel del sistema de refrigerante del reactor, la temperatura de contención, la presión de contención, el nivel de contención, el nivel de eliminación de calor de decaimiento, la presión de eliminación de calor de decaimiento, la presión de eliminación de calor, nivel de la piscina del reactor y del combustible gastado, la

temperatura de la piscina del reactor y del combustible gastado, la monitorización de neutrones y la posición de la barra de control.

5 En el sistema de energía nuclear 100 ilustrado, el sistema de energía eléctrica 135 (mostrado en forma de diagrama de bloque) puede proporcionar la corriente de CA y de CC a todas las cargas eléctricas de los sistemas de reactores nucleares 150 en el sistema 100. Por ejemplo, se puede proporcionar energía de CA (por ejemplo, 120 VCA, 1 fase, 60 Hz) a los sistemas de reactor nuclear 150 a través de uno o más buses de CA 145 (ilustrados como un bus, pero contemplados como más de un bus paralelo). El bus de energía de CA 145, en algunos aspectos, puede suministrar energía de CA a cargas críticas (por ejemplo, cargas ESF). También se puede proporcionar energía de CA a cargas no críticas de los sistemas de reactor nuclear 150 a través de uno o más buses de CA 140 (ilustrados como un bus, pero contemplados como más de un bus paralelo).

15 La figura 2 ilustra un diagrama de bloques de un subsistema de distribución de energía eléctrica 200 para un sistema de energía nuclear que utiliza una fuente de energía de respaldo compartida. Por ejemplo, en algunos aspectos, el subsistema 200 se puede utilizar como parte del sistema de distribución eléctrica 135 (por ejemplo, incluyendo el bus (o buses) de CA 145). En algunas implementaciones, por ejemplo, más de un subsistema 200 puede usarse como todo o parte del sistema de distribución eléctrica 135.

20 El subsistema ilustrado 200, en algunos aspectos, puede utilizar un respaldo de la batería compartida 215 para suministrar energía DC a un bus DC 235. El bus de CC 235 se puede transformar en energía de CA y suministrar energía de CA a cargas de energía críticas, como las cargas ESF a prueba de fallos. En algunos aspectos, la batería de respaldo 215 puede incluir varias baterías VRLA que tienen suficiente capacidad para alimentar al bus de CC 235 con alimentación de CC durante aproximadamente 24 horas.

25 El subsistema 200 también incluye una fuente de CA primaria 205 que está acoplado eléctricamente con el bus DC 235 a través de un cargador/convertidor 210 que convierte la corriente alterna suministrada por la fuente de CA primaria 205 a DC para el bus de CC 235. El cargador/convertidor 210 también puede, en algunos aspectos, acoplarse eléctricamente a la batería de respaldo 215 (por ejemplo, directamente o a través del bus de CC 235) para proporcionar una carga eléctrica a la batería de reserva 215 desde la fuente de CA primaria 205. En algunos aspectos, la fuente de CA primaria 205 (por ejemplo, 480/3/60) también puede incluir un generador de respaldo (o generadores) (por ejemplo, diésel) que se enciende (por ejemplo, automáticamente) ante la pérdida de energía de la fuente de CA primaria 205. Por lo tanto, la fuente de energía principal para el bus de CC 235 puede ser la fuente de CA primaria 205 (con generador diésel de respaldo) con la batería de respaldo 215.

35 El subsistema 200 también incluye una fuente de utilidad 220 que suministra energía CA a un transformador de regulación de tensión (VRT) 225. En algunos aspectos, las fuentes de energía 205 y 220 pueden ser las mismas y pueden incluir la energía de la utilidad generada por, por ejemplo, una red que está acoplada eléctricamente al subsistema 200 (por ejemplo, una red que funciona con equipos de generación de energía en el sitio, tales como turbinas o de otro tipo). El VRT 225 recibe la energía de CA, por ejemplo, a 480 VCA, de la alimentación de la red pública 220 y la transforma en una energía de CA limpia, por ejemplo, a 120 VCA, a un inversor/interruptor estático ("ISS") 230.

45 El ISS ilustrado 230 recibe, como entrada, una alimentación de CC del bus de CC 235 y la energía de CA del VRT 225. El ISS 230 (y más específicamente, la porción del inversor) transforma la alimentación de CC del bus de CC 235 en energía de CA. Luego, el ISS 230 (y más específicamente, la porción del interruptor estático) puede seleccionar de manera controlable una de las dos fuentes de energía de CA para proporcionar al bus de energía de CA 145. El bus de CA 145, a su vez, suministra energía de CA a múltiples sistemas de reactores nucleares 150 (por ejemplo, doce u otro número) (por ejemplo, cargas eléctricas de ESF en los sistemas 150).

50 La figura 3 ilustra un diagrama de bloques de un subsistema de distribución de energía eléctrica 300 para un sistema de energía nuclear que usa una fuente de energía de respaldo compartida y redundante para cargas críticas, como las cargas de ESF. Por ejemplo, en algunos aspectos, el subsistema 300 se puede utilizar como parte del sistema de distribución eléctrica 135 (por ejemplo, incluyendo el bus (o buses) de CA 145). En algunas implementaciones, por ejemplo, más de un subsistema 300 puede usarse como todo o parte (por ejemplo, junto con o en lugar de uno o más subsistemas 201) del sistema de distribución eléctrica 135. Como se ilustra, el subsistema incluye dos módulos 201 de esquema de energía de IE, que, en el ejemplo ilustrado, pueden proporcionar la redundancia para las cargas de ESF. Cada módulo 201 de esquema de energía de IE puede ser sustancialmente similar a al menos una porción del subsistema 200 ilustrado en la figura 2 que alimenta el bus CA 145.

60 El subsistema ilustrado 300, en algunos aspectos, puede representar un, sistema de energía eléctrica redundante compartida para un sistema de energía nuclear (por ejemplo, sistema de energía nuclear 100) en el que las cargas críticas (por ejemplo, cargas del ESF dentro de los sistemas de energía nuclear 150) fallan en sus respectivas posiciones "seguras" y están respaldadas, en caso de un fallo de energía de CA, por una batería no calificada, por ejemplo, respaldo de batería 215. Como se ilustra, el subsistema 300 incluye subsistemas redundantes 200 que están acoplados eléctricamente al bus de CA 145 para proporcionar energía de CA a varios sistemas de reactores nucleares 150 (por ejemplo, doce, o menos o más).

En algunos aspectos, la redundancia proporcionada (como se muestra en la figura 3) al agregar un segundo subsistema 201 que está acoplado eléctricamente al bus de CA 145 (por ejemplo, un bus único o múltiples buses 145) puede duplicar las funciones esenciales de un solo subsistema 201 en la medida en que cualquiera de los subsistemas 201 pueda realice las funciones requeridas independientemente del estado de operación o fallo del otro subsistema 201.

En algunas implementaciones, la batería de reserva 215 sólo puede suministrar energía a algunos, pero no todos, (por ejemplo, ESF) cargas críticas durante un evento de pérdida de energía principal debido a, por ejemplo, las cargas críticas no a sus estados de seguridad respectivos. Por ejemplo, la batería de respaldo 215 solo puede proporcionar energía a cada uno de los sistemas de reactor nuclear 150 para mantener sus respectivas válvulas de enfriamiento de emergencia en una posición cerrada durante un tiempo determinado (por ejemplo, 24 horas). Esta carga crítica también puede fallar en su posición segura o abierta. Por lo tanto, la batería de respaldo 215 puede simplemente proporcionar energía de "retención" para mantener tales válvulas en su posición no segura o cerrada.

La figura 4 ilustra un diagrama de bloques de un subsistema de distribución de energía eléctrica 400 para un sistema de energía nuclear que utiliza una fuente de energía de respaldo compartida para cargas no críticas, como cargas comunes activas y PAM. Por ejemplo, en algunas implementaciones, el subsistema 400 puede ilustrar un esquema de distribución de energía eléctrica para proporcionar energía de CA a tales cargas no críticas a través de trenes de baterías de respaldo 465 en cada uno de los dos canales 402.

El subsistema 400, como se muestra, incluye dos canales 402, con cada canal 402 incluyendo un bus de CA 405 y un bus de CA secundario 410 que proporcionan cada uno energía de CA a un sistema de reactor nuclear separado 450. Como se ilustra, los buses 410 de CA son atendidos por los subsistemas 300 y cada bus 410 de CA recibe energía de CA desde un inversor/conmutador estático 415 que recibe energía de CA de un VRT 420 y energía de CC desde un bus de CC 430. El ISS 415 convierte la energía de CC del bus de CC 430 en energía de CA (por ejemplo, en la porción del inversor) y luego, puede seleccionar de manera controlable la energía de CA del VRT 420 o la energía de CA convertida del bus de CC 430 (por ejemplo, la parte estática del interruptor). El VRT 420 recibe energía de CA (por ejemplo, 480/3/60) de una fuente de energía 425.

Como se ilustra, en cada canal 402, un bus de CA 405 sirve un sistema de reactor nuclear 450. En algunas implementaciones, el bus de CA 405 es sustancialmente similar al bus de CA 145 como se muestra en la figura 3, y recibe energía de CA de un subsistema similar o idéntico al subsistema 300.

Como se ilustra, cada bus de CC 430 está acoplado eléctricamente a dos fuentes de energía de CC. Por ejemplo, el bus de CC 430 está acoplado eléctricamente a una fuente de CA primaria 445 (que puede o no puede ser respaldada por un generador) a través de un cargador 435. El bus de CC 430 también está acoplado eléctricamente al tren de respaldo de batería 465. En algunas implementaciones, el tren de respaldo de batería 465 puede incluir múltiples baterías VLA dimensionadas para proporcionar suficiente energía de CC para cargas no críticas (por ejemplo, cargas comunes y PAM) durante un período de tiempo particular después de un apagado o evento de seguridad (por ejemplo, 72 horas diferente).

Como se ilustra adicionalmente, el bus de CC 430 proporciona energía de CC a un ISS 415, que, a su vez, transforma la energía de CC a energía de CA y suministra un bus de CA 410 (así como otros buses de corriente alterna). El ISS 415 también se suministra con energía de CA desde una fuente de CA de utilidad 425 que se enruta a través de un VRT 420. Por lo tanto, el ISS 415 que proporciona energía de CA al bus de CA 410 tiene fuentes de alimentación redundantes. Como se ilustra, el ISS 415 también proporciona energía de CA, en esta implementación, a un sistema de seguridad de planta compartida (sistema SPS) 440 en cada canal.

El bus CA 410, como el bus de CA 405, proporciona energía de CA (por ejemplo, 120/1/60) al sistema de reactor nuclear 450. Como se ilustra, el ISS 415 puede servir, en esta implementación, múltiples buses de CA que proporcionan energía a otros sistemas de reactor nuclear correspondientes (por ejemplo, como se muestra en la figura 1). El bus CA 410 también proporciona energía de CA a las unidades de visualización de vídeo de seguridad (SVDU) 455 y 460. Por ejemplo, las SVDU 455 y 460 pueden ser específicas para cada canal 402 en particular y, en algunas implementaciones, proporcionar visualización de vídeo para subsistemas tales como estaciones de apagado remoto u otros sistemas.

En algunos casos, la funcionalidad PAM es una demanda de energía activa y no pasiva bajo las directrices correspondientes. En algunas implementaciones, como se ilustra aquí, puede haber dos canales de cargas de energía no críticas (por ejemplo, cargas comunes o de función PAM). Por lo tanto, cada tren de baterías 465 puede incluir baterías calificadas (por ejemplo, baterías tipo VLA). Pero como la funcionalidad PAM es, en algunos aspectos, solo monitorización (aunque esté activa), la fuente de energía de CC para tales cargas puede ser compartida. Por lo tanto, en algunos aspectos, un tercer tren de baterías 465 puede incluirse como un tren de repuesto que se comparte entre dos canales 402. Como se indicó anteriormente, en algunos aspectos, cada tren de baterías 465 puede ser baterías de tipo VLA (por ejemplo, EnerSys GN-45 capaz de 3600 Ah y 1.75 FV/C u otras baterías).



Las figuras 5A-5B ilustran un diagrama de bloques de una ilustración ampliada de una implementación de ejemplo de un sistema de distribución de energía eléctrica 500 para un sistema de energía nuclear. En un nivel alto, el sistema 500 incluye: (1) ESF, o cargas críticas, que, en algunos casos, fallan en su posición segura respectiva tras la pérdida de la energía de CA primaria y, en otros casos, cargas críticas (por ejemplo, válvulas ECC), que se mantienen en su posición no segura por una fuente de energía de respaldo no calificada; (2) un sistema de energía eléctrica compartido y redundante para un sistema de energía nuclear (por ejemplo, el sistema de energía nuclear 100) en el que las cargas críticas (por ejemplo, las cargas de ESF) tienen una fuente de energía de respaldo compartida y redundante, no calificada; y (3) una fuente de energía de IE calificada de respaldo compartida para cargas no críticas, como cargas comunes activas y PAM.

Volviendo ahora particularmente a la figura 5A, el sistema 500, como se ilustra, incluye cuatro módulos de carga crítica 505a-505d que suministran energía de CA a cuatro canales (como se explicó anteriormente) del sistema 500. Cada módulo 505a-505d proporciona energía de CA para cargas críticas (por ejemplo, cargas ESF a prueba de fallos) a través de los buses de energía de CA 545a-545d (por ejemplo, cuatro canales). Cada bus de CA 545a-545d proporciona energía a múltiples sistemas de reactores nucleares 150 (por ejemplo, doce en la implementación ilustrada).

Como se ilustra, cada módulo 505a-505d incluye dos módulos de combinación de energía IE 501, como se ha indicado por el símbolo prima, o ', que, en el ejemplo ilustrado, puede proporcionar la redundancia para las cargas del ESF. Por ejemplo, con respecto a los módulos "a", cada módulo 501a y 501a' del esquema de energía de IE puede ser sustancialmente similar a al menos una porción del subsistema 201 ilustrado en la figura 2 que alimenta el bus CA 145.

El uso del módulo "a" como un ejemplo aplicable a los módulos b-d, cada módulo 505a, como se ilustra, puede ser sustancialmente similar a un subsistema 300 descrito anteriormente. Por ejemplo, cada módulo 505a puede utilizar una batería de respaldo no calificada 520a/520a' para suministrar energía de CC al bus de CC 525a/525a'. El bus de CC 525a/525a' puede suministrar energía de CC a cargas de energía críticas (una vez transformadas), como las cargas ESF a prueba de fallos. En algunos aspectos, la batería de respaldo 520a/520a' puede incluir varias baterías VRLA que tengan suficiente capacidad para alimentar el bus de CC 525a/525a' con alimentación de CC durante aproximadamente 24 horas.

El módulo 505a también incluye una fuente de CA primaria 510a/510a' que está acoplada eléctricamente con el bus DC 525a/525a' a través de un cargador/convertidor 515a/515a' que convierte la corriente alterna suministrada por la fuente de CA primaria 510a/510a' a la energía de CC para el bus de CC 525a/525a'. En algunos aspectos, la fuente de CA primaria 510a/510a' (por ejemplo, 480/3/60) también puede incluir un generador de respaldo (por ejemplo, diésel) que se enciende (por ejemplo, automáticamente) ante la pérdida de energía de la fuente de CA primaria 510a/510a'. Por lo tanto, la fuente de energía principal para el bus de CC 525a/525a' puede ser la fuente de CA primaria 510a/510a' (con generador diésel de respaldo) con la batería de respaldo 520a/520a'.

El módulo 505a también incluye un suministro eléctrico 540a/540a' que suministra energía de CA a una VRT 535a/535a'. En algunos aspectos, las fuentes de energía 510a/510a' y 540a/540a' pueden ser las mismas y pueden incluir la energía de la utilidad generada por, por ejemplo, una red que está acoplada eléctricamente al módulo 505a. El VRT 535a/535a' recibe la energía de CA, por ejemplo, a 480/3/60, de la energía de la utilidad 540a/540a' y la transforma a una energía de CA, por ejemplo, 120/1/60. La energía de CA disminuida se proporciona a un inversor/interruptor estático 530a/530a', que también recibe energía de CC a través del bus de CC 525a/525a'. El ISS 530a/530a' transforma la energía de CC del bus de CC 525a/525a' en energía de CA y luego, puede elegir selectivamente de las dos fuentes de energía de CA (por ejemplo, del bus de CC 525a/525a' o el VRT 535a/535a') para alimentar al bus de CA 545a.

Como se ilustra con las designaciones de primera calidad, los módulos 505a-505d incluyen subsistemas redundantes (por ejemplo, subsistemas 200) que están ambos acoplados eléctricamente a buses CA 545A-545D con el fin de proporcionar energía de CA a una serie de sistemas de reactor nuclear 150 (por ejemplo, doce o menos o más). La redundancia puede duplicar las funciones esenciales de un solo subsistema en la medida en que cualquiera de los subsistemas de cada módulo 505a-505d puede realizar las funciones requeridas independientemente del estado de operación o fallo del otro subsistema.

Volviendo ahora particularmente a las figuras 5B, el sistema 500 también incluye subsistemas que proporcionan energía de CC a dichas cargas no críticas a través de trenes de baterías de respaldo 600 en dos de cuatro canales. Como se muestra en la figura 5B, se ilustran cuatro canales, cada uno de los cuales proporciona energía de CA a un bus de CA 545a a 545d. Cada canal que suministra energía de CA a los buses de CA 545c y 545b también incluye un bus de CA secundario 605c y 605b, respectivamente, que proporcionan energía de CA a un sistema de reactor nuclear separado 550c y 550b, respectivamente.

Como se ilustra, los buses 605C y 605B CA se sirven por los módulos de combinación de energía de IE 601 (por ejemplo, similar al sistema 200) en la energía de CA que cada bus de CA 605c y 605b se suministra a partir de un/interruptor estático inversor 610 que puede seleccionar una fuente de energía de CA particular desde la que se

## ES 2 708 772 T3

suministran a los buses 605c y 605b (por ejemplo, energía de CA desde un VRT 620 o energía de CA convertida desde el bus de CC 625). El VRT 620 recibe energía de CA (por ejemplo, 480/3/60) de una fuente de energía 615.

5 Como se ilustra, en cada canal, un bus de CA 545c/545b sirve un sistema de reactor 550c/550b nuclear. En algunas implementaciones, el bus de CA 545c/545b es sustancialmente similar al bus de CA 145 como se muestra en la figura 3, y recibe energía de CA de un subsistema similar o idéntico al subsistema 300.

10 Como se ilustra, cada bus de CC 625 está acoplado eléctricamente a dos fuentes de alimentación de CC. Por ejemplo, el bus de CC 625 está acoplado eléctricamente a una fuente de CA primaria 635 (que puede o no puede ser respaldada por un generador) a través de un cargador 630. En algunas implementaciones, la fuente de CA 635 puede ser idéntica a la fuente de CA 510. El bus de CC 625 también está acoplado eléctricamente al tren de respaldo de batería 600. En algunas implementaciones, el tren de respaldo de batería 600 puede incluir múltiples baterías calificadas IE, por ejemplo, tipo VLA, baterías del tamaño adecuado para proporcionar suficiente energía de CC para cargas no críticas (por ejemplo, cargas comunes y PAM) durante un período de tiempo determinado después de una parada o evento de seguridad (por ejemplo, 72 horas o de otra manera).

20 Como se ilustra adicionalmente, el bus de CC 625 proporciona energía de CC a un/interruptor estático inversor 610, que, a su vez, transforma la energía de CC a energía de CA y suministra una CA bus 605c/605b (así como otros buses CA similares). El ISS 610 también se suministra con energía de CA desde una fuente de CA de utilidad 615 que se enruta a través de un VRT 620. Por lo tanto, el ISS 610 que proporciona energía de CA al bus de CA 605c/605b tiene fuentes de alimentación redundantes entre las que se puede seleccionar para alimentar a los buses 605c/605b.

25 Como se ilustra, el ISS 610 también proporciona energía de CA, en esta implementación, a un sistema de seguridad de la planta compartida (sistema SPS) 640 en cada canal. El sistema SPS 640 puede incluir cargas compartidas de seguridad comunes en el sistema 500, como, por ejemplo, la monitorización de la radiación del respiradero del edificio del reactor, la monitorización de la radiación suplementaria C/R, el nivel del depósito de combustible gastado (SFP), la temperatura del SFP y las luces electrónicas.

30 El CA bus 605c/605b, como el bus CA 545c/545b, proporciona energía de CA (por ejemplo, 120/1/60) al sistema de reactor nuclear 550c/550b. Como se ilustra, el ISS 610 puede servir, en esta implementación, múltiples buses de CA que proporcionan energía a otros sistemas de reactor nuclear correspondientes (por ejemplo, como se muestra en la figura 1). El bus de CA 605c/605b también proporciona energía de CA a las unidades de pantalla de video de seguridad (SVDU) 650 y 645. Por ejemplo, las SVDU 650 y 645 pueden ser específicas para cada canal en particular y, en algunas implementaciones, proporcionar visualización de video para subsistemas tales como estaciones de apagado remoto u otros sistemas.

40 En algunos casos, la funcionalidad PAM es una demanda de energía activa y no pasiva bajo las directrices correspondientes. En algunas implementaciones, como se ilustra aquí, puede haber dos canales de cargas de energía no críticas (por ejemplo, cargas comunes o de función PAM). Por lo tanto, cada tren de baterías 600 puede incluir baterías calificadas (por ejemplo, baterías tipo VLA). Pero como la funcionalidad de PAM es, en algunos aspectos, solo monitorización (aunque esté activa), la fuente de energía de CC de respaldo para tales cargas puede ser compartida. Por lo tanto, en algunos aspectos, se puede incluir un tercer tren de batería 600 como un tren de repuesto que se comparte entre los dos canales (por ejemplo, los canales "c" y "b"). Como se indicó anteriormente, en algunos aspectos, cada tren de baterías 600 puede ser un tren de baterías de IE calificado, como baterías tipo VLA (por ejemplo, EnerSys GN-45 capaz de 3600 Ah y 1.75 FV/C u otras baterías).

50 Dos canales adicionales (por ejemplo, los canales "a" y "d") están también ilustrados en el sistema 500. Cada uno de estos canales incluye un bus de CA 545a/545d que proporciona energía de CA a los respectivos sistemas de reactor nuclear 550a/550d.

55 La figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra un método de ejemplo 700 para operar un sistema de distribución de energía eléctrica para un sistema de energía nuclear. En algunas implementaciones, el método 700 puede ejecutarse con la totalidad o una parte del sistema de energía eléctrica 500 mostrado en las figuras 5A-5B. El método 700 puede comenzar en la etapa 702, donde se detecta una pérdida de la energía primaria (CA) que alimenta las cargas de ESF (por ejemplo, críticas) del reactor nuclear y (por ejemplo, PAM). Por ejemplo, y con referencia a las figuras 5A-5B, la energía de CA primaria se puede perder cuando las fuentes de CA 510, 540 y 615 o 635 ya no pueden proporcionar energía de CA primaria (por ejemplo, 480/3/60) para el sistema.

60 En la etapa 704, las cargas del ESF (por ejemplo, de control y carga motrices) se ajustan automáticamente a su respectiva seguridad, o "seguro de fallo", estados basados al menos en parte en la pérdida de la energía de CA primaria. Por ejemplo, y con referencia a las figuras 5A-5B, las cargas de ESF en cada uno de los sistemas de reactor nuclear 150 (por ejemplo, como se muestra, doce sistemas de reactor modular) pueden volver automáticamente a las posiciones de seguridad. Las cargas de ESF pueden incluir, por ejemplo, válvulas de aislamiento de contención, válvulas de eliminación de calor de decaimiento (DHR), otras válvulas y equipos accionables, así como sensores, que están acoplados eléctricamente a los buses de CA 545a-545d.

65

5 En la etapa 706, se suministra energía de respaldo de CA a una o más cargas del ESF (por ejemplo, válvulas de ECC) desde una fuente de energía no calificada. Por ejemplo, y con referencia a las figuras 5A-5B, dichas cargas pueden seguir recibiendo energía de CA a través del ISS 530 de las fuentes de batería 525, que no son calificadas (por ejemplo, baterías tipo VRLA). Como se describió anteriormente, cada uno de los sistemas ilustrados 150 puede  
10 compartir dos fuentes de batería 525, una de las cuales es un respaldo primario y la otra es un respaldo redundante. En algunos aspectos, sin embargo, la etapa 706 y las fuentes de batería 525 pueden no estar incluidas. Por ejemplo, debido a que las cargas de ESF fallan en sus respectivas posiciones seguras, la fuente de energía de respaldo de las baterías 525 puede no ser necesaria. En algunos aspectos, solo las fuentes de batería 520a, 520a', etc. mantienen una válvula de refrigeración de emergencia en cada uno de los sistemas 150 en una posición cerrada durante un  
15 tiempo determinado (por ejemplo, 24 horas).

15 En la etapa 708, se suministra energía de respaldo de CA a las cargas de monitorización, o no críticas, de una fuente de energía calificada. Por ejemplo, y con referencia a las figuras 5A-5B, tales cargas pueden seguir recibiendo energía de CA a través del ISS 610 de los trenes de baterías 600, que son baterías calificadas (por ejemplo, del tipo VLA).

20 En la etapa 710, se realiza una determinación de si se restablece la energía principal de CA. Basado en el restablecimiento de la energía de CA primaria, el ESF y las cargas de monitorización reciben energía de CA desde la fuente de energía de CA primaria en la etapa 712. De lo contrario, dichas cargas seguirán siendo suministradas con energía de CA de las fuentes de la batería como se describe anteriormente.

25 Se han descrito implementaciones particulares de la materia. Otras implementaciones, alteraciones y permutaciones de las implementaciones descritas están dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones como será evidente para los expertos en la técnica. Por ejemplo, las acciones recitadas en las reivindicaciones pueden realizarse en un orden diferente y aun así lograr resultados deseables. En consecuencia, la descripción anterior de implementaciones de ejemplo no define ni restringe esta divulgación. También son posibles otros cambios, sustituciones y alteraciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de distribución eléctrica (500) para una central nuclear, que comprende:
  - 5 al menos una fuente de energía de corriente alterna primaria (510b);  
una primera pluralidad de cargas de corriente alterna de una pluralidad de sistemas de reactor nuclear (150) de la planta de energía nuclear, comprendiendo cada una de la primera pluralidad de cargas de corriente alterna una carga eléctrica crítica de la pluralidad de sistemas de reactor nuclear (150) que está configurada para fallar a una posición de seguridad basada en una pérdida de energía eléctrica de la fuente de energía de corriente alterna primaria (510b);
  - 10 un primer bus de energía de corriente alterna (545b) que está acoplado eléctricamente a la al menos una fuente de energía de corriente alterna primaria (510b) y la primera pluralidad de cargas de corriente alterna, en donde el primer bus de energía de corriente alterna (545b) está acoplado selectivamente a un bus de corriente continua (525b) a través de un inversor/interruptor estático (ISS, 530b), estando el bus de corriente continua (525b) acoplado eléctricamente a la fuente de energía alterna primaria (510b) a través de un cargador/convertidor (515b), y además está acoplado eléctricamente a un primer sistema de batería crítica que comprende una o más fuentes de batería no calificadas;
  - 15 una segunda pluralidad de cargas de corriente alterna de la pluralidad de sistemas de reactor nuclear (150), comprendiendo cada una de la segunda pluralidad de cargas de corriente alterna una carga eléctrica no crítica de la pluralidad de sistemas de reactor nuclear (150); y
  - 20 un segundo bus de energía de corriente alterna (605b) que está acoplado eléctricamente a la al menos una fuente de energía de corriente alterna primaria (510b), la segunda pluralidad de cargas de corriente alterna y un sistema de batería no crítica que comprende una o más fuentes de batería calificadas.
- 25 2. El sistema de distribución eléctrica (500) de la reivindicación 1, en el que la primera pluralidad de cargas de corriente alterna comprende cargas eléctricas de características de seguridad diseñadas, y la una o más fuentes de batería no calificadas del primer sistema de batería crítica comprenden baterías de ácido de plomo reguladas por válvula.
- 30 3. El sistema de distribución eléctrica (500) de la reivindicación 1, en el que la segunda pluralidad de cargas de corriente alterna comprende cargas eléctricas de monitorización activas posteriores al accidente y cargas eléctricas comunes, y la una o más fuentes de batería calificadas comprenden baterías de ácido de plomo ventiladas.
4. El sistema de distribución eléctrica (500) de la reivindicación 3, en el que el sistema de batería no crítica comprende:
  - 35 un primer tren de baterías acoplado eléctricamente a un primer canal del segundo bus de energía de corriente alterna (605b); y
  - un segundo tren de baterías acoplado eléctricamente a un segundo canal del segundo bus de energía de corriente alterna (605b), comprendiendo cada uno de los trenes de baterías primero y segundo una o más fuentes de baterías calificadas que comprenden baterías de ácido de plomo ventiladas.
  - 40
5. El sistema de distribución eléctrica (500) de la reivindicación 4, que comprende además un tercer tren de baterías acoplado eléctricamente a ambos canales primero y segundo del segundo bus de energía de corriente alterna (605b), comprendiendo el tercer tren de baterías una o más fuentes de batería calificadas que comprenden baterías de ácido de plomo ventiladas.
- 45 6. El sistema de distribución eléctrica (500) de la reivindicación 1, en el que al menos uno de:
  - a) el primer sistema de batería crítica está dimensionado para suministrar energía de corriente alterna a la primera pluralidad de cargas de corriente alterna durante aproximadamente 24 horas basado en una pérdida de energía eléctrica de la fuente de energía de corriente alterna primaria (510b); y
  - 50 b) los sistemas de batería no críticos están dimensionados para suministrar energía de corriente alterna a la segunda pluralidad de cargas de corriente alterna durante aproximadamente 72 horas basado en una pérdida de energía eléctrica de la fuente de energía de corriente alterna primaria (510b).
- 55 7. El sistema de distribución eléctrica (500) de la reivindicación 1, que además comprende:  
un tercer bus de energía de corriente alterna que está acoplado eléctricamente a la fuente de energía de corriente alterna primaria (510b), la primera pluralidad de cargas de corriente alterna 30, y un segundo sistema de batería crítica que comprende una o más fuentes de batería no calificada.
- 60 8. El sistema de distribución eléctrica (500) de la reivindicación 1, en el que cada uno de los sistemas de energía nuclear (150) comprende un reactor nuclear modular enfriado pasivamente.
9. Un método para proporcionar energía a una planta de energía nuclear, que comprende:
  - 65 proporcionar al menos una fuente de energía de corriente alterna primaria (510b);  
proporcionar una primera pluralidad de cargas de corriente alterna de una pluralidad de sistemas de reactor nuclear

(150) de la central nuclear, cada una de la primera pluralidad de cargas de corriente alterna que comprende una carga eléctrica crítica de la pluralidad de sistemas de reactor nuclear (150) que está configurada para fallar a una posición de seguridad basada en una pérdida de energía eléctrica de la fuente de energía de corriente alterna primaria;

5 acoplar eléctricamente un primer bus de energía de corriente alterna (545b) a la fuente de energía de corriente alterna primaria (510b) y la primera pluralidad de cargas de corriente alterna;

10 acoplar eléctricamente el primer bus de energía de corriente alterna (545b) selectivamente a un bus de energía de corriente continua (525b) a través de un inversor/interruptor estático (ISS, 530b), estando el bus de energía de corriente continua (525b) acoplado eléctricamente a la fuente de energía alternativa primaria (510b) a través de un cargador/convertidor (515b), y además está acoplado eléctricamente a un primer sistema de batería crítica que comprende una o más fuentes de batería no calificadas;

15 proporcionar una segunda pluralidad de cargas de corriente alterna de la pluralidad de sistemas de reactor nuclear (150), comprendiendo cada una de la segunda pluralidad de cargas de corriente alterna una carga eléctrica no crítica de la pluralidad de sistemas de reactor nuclear (150); y

15 acoplar eléctricamente un segundo bus de energía de corriente alterna (605b) a la segunda pluralidad de cargas de corriente alterna y un sistema de batería no crítico que comprende una o más fuentes de batería calificadas.

20 10. El método de la reivindicación 9, en el que la primera pluralidad de cargas de corriente alterna comprende cargas eléctricas de características de seguridad diseñadas, y la una o más fuentes de batería no calificadas del primer sistema de batería crítica comprenden baterías de ácido de plomo reguladas por válvula.

25 11. El método de la reivindicación 9, en el que la segunda pluralidad de cargas de corriente alterna comprende cargas eléctricas activas de monitorización posterior a un accidente y cargas eléctricas comunes, y la una o más fuentes de batería calificadas comprenden baterías de ácido de plomo ventiladas.

25 12. El método de la reivindicación 11, que además comprende:

30 acoplar eléctricamente un primer tren de baterías del sistema de baterías no críticas a un primer canal del segundo bus de energía de corriente alterna (605b); y

30 acoplar eléctricamente un segundo tren de baterías del sistema de baterías no críticas a un segundo canal del segundo bus de energía de corriente alterna (605b), comprendiendo cada uno de los trenes de baterías primero y segundo una o más fuentes de baterías calificadas que comprenden baterías de ácido de plomo ventiladas, y en donde, opcionalmente, el método comprende además acoplar eléctricamente un tercer tren de baterías del sistema de baterías no críticas a los canales primero y segundo del segundo bus de energía de corriente alterna (605b), comprendiendo el tercer tren de baterías una o más fuentes de baterías calificadas que comprenden baterías de ácido de plomo ventiladas.

35 13. El método de la reivindicación 9, que comprende al menos uno de:

40 a) dimensionar el primer sistema de batería crítica para suministrar energía de corriente alterna a la primera pluralidad de cargas de corriente alterna durante aproximadamente 24 horas basado en una pérdida de energía eléctrica de la fuente de energía de corriente alterna primaria (510b); y

45 b) dimensionar los sistemas de batería no críticos para suministrar energía de corriente alterna a la segunda pluralidad de cargas de corriente alterna durante aproximadamente 72 horas basado en una pérdida de energía eléctrica de la fuente de energía de corriente alterna primaria (510b).

14. El método de la reivindicación 9, que además comprende:

50 acoplar eléctricamente un tercer bus de energía de corriente alterna a la fuente de energía de corriente alterna primaria (510b), la primera pluralidad de cargas de corriente alterna y un segundo sistema de batería crítica que comprende una o más fuentes de batería no calificadas.

15. El método de la reivindicación 9, que además comprende:

55 detectar (702) una pérdida de energía de corriente alterna primaria de al menos una fuente de energía de corriente alterna primaria (510b);  
ajustar (704) al menos una porción de la primera pluralidad de cargas de corriente alterna a sus respectivas posiciones de seguridad;

60 suministrar (706) energía de corriente alterna a la porción de la primera pluralidad de cargas de corriente alterna de una o más fuentes de batería no calificadas a través del primer bus de energía de corriente alterna (545b) y suministrar (708) energía de corriente alterna a la segunda pluralidad de cargas de corriente alterna desde una o más fuentes de batería calificadas a través del segundo bus de energía de corriente alterna (605b);  
y en el que opcionalmente el método comprende, además:

65 detectar (710) una restauración de la energía de corriente alterna primaria de al menos una energía de corriente alterna primaria (510b);

suministrar (712) energía de corriente alterna a la porción de la primera pluralidad de cargas de corriente alterna desde la al menos una fuente de energía de corriente alterna primaria (510b) a través del primer bus de energía de corriente alterna (545b); y

5 suministrar (712) energía de corriente alterna a la segunda pluralidad de cargas de corriente alterna desde la al menos una fuente de energía de corriente alterna primaria (510b) a través del segundo bus de energía de corriente alterna (605b).

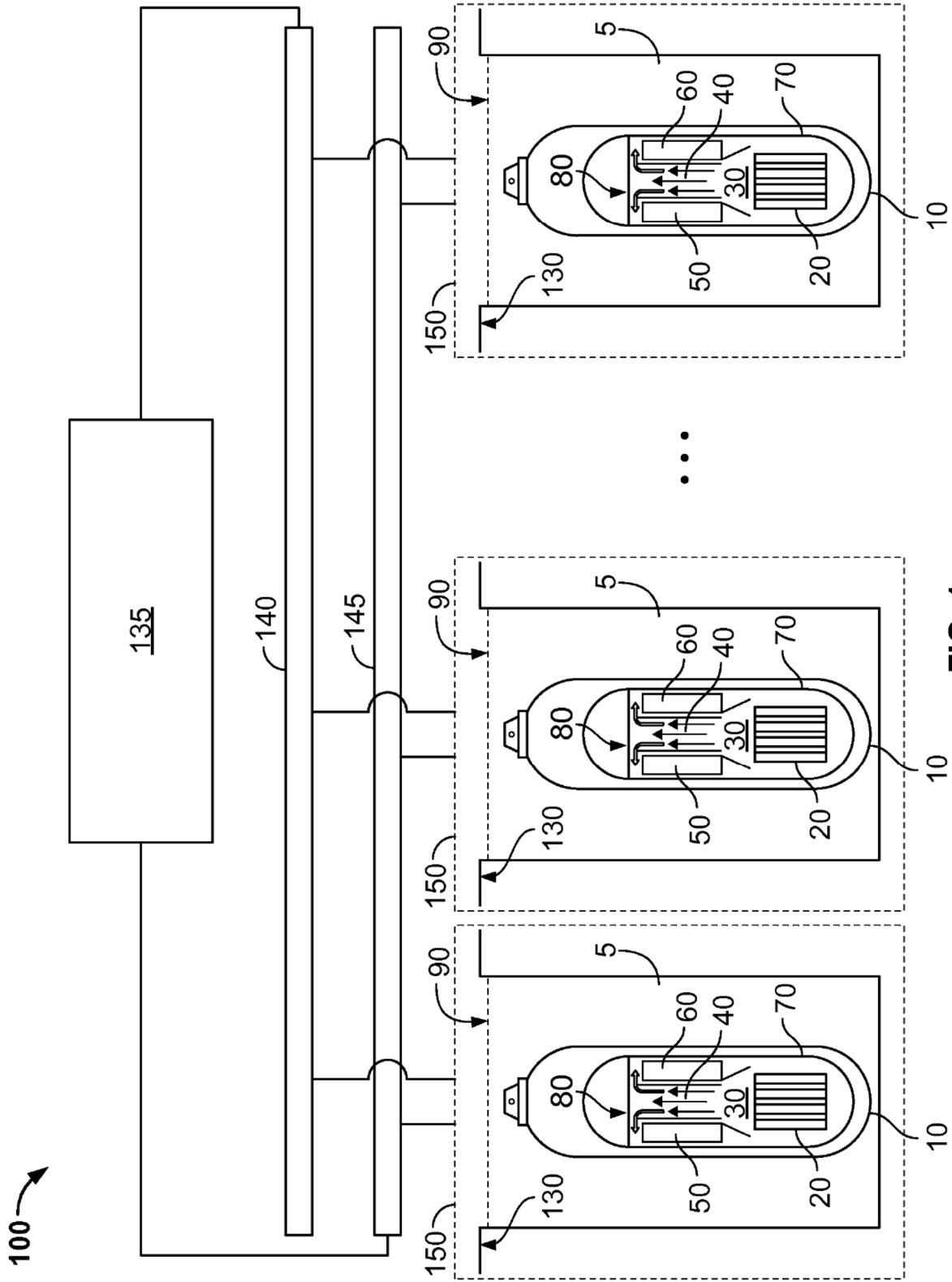


FIG. 1

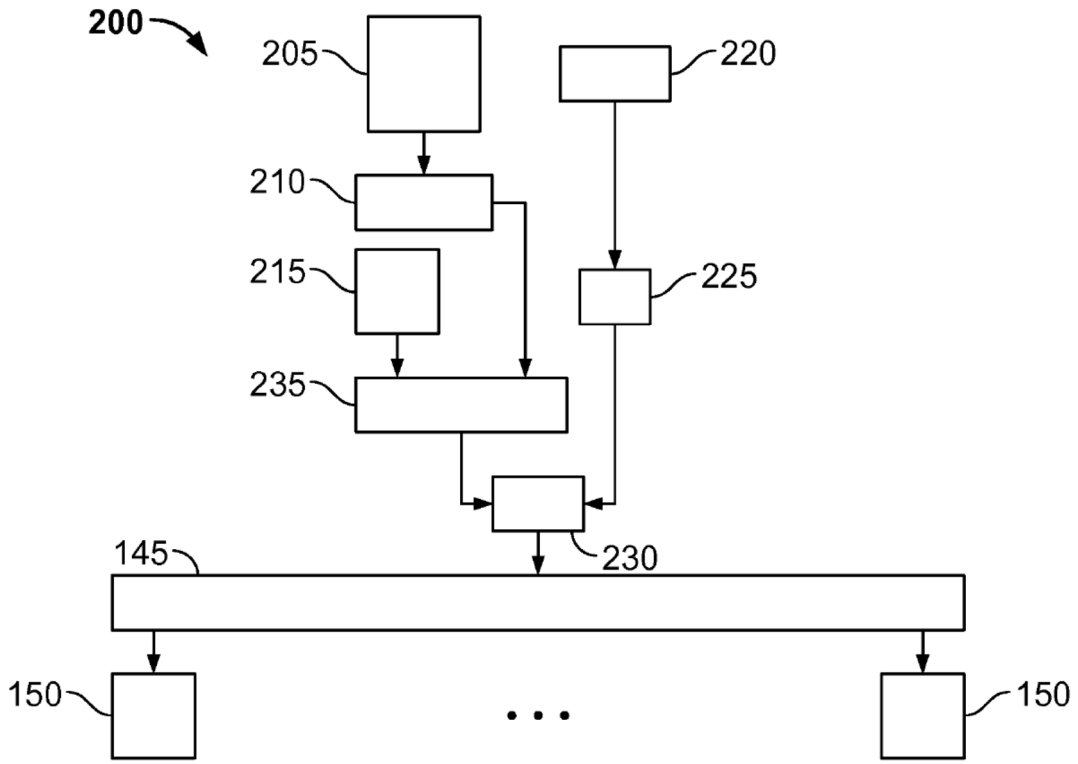


FIG. 2

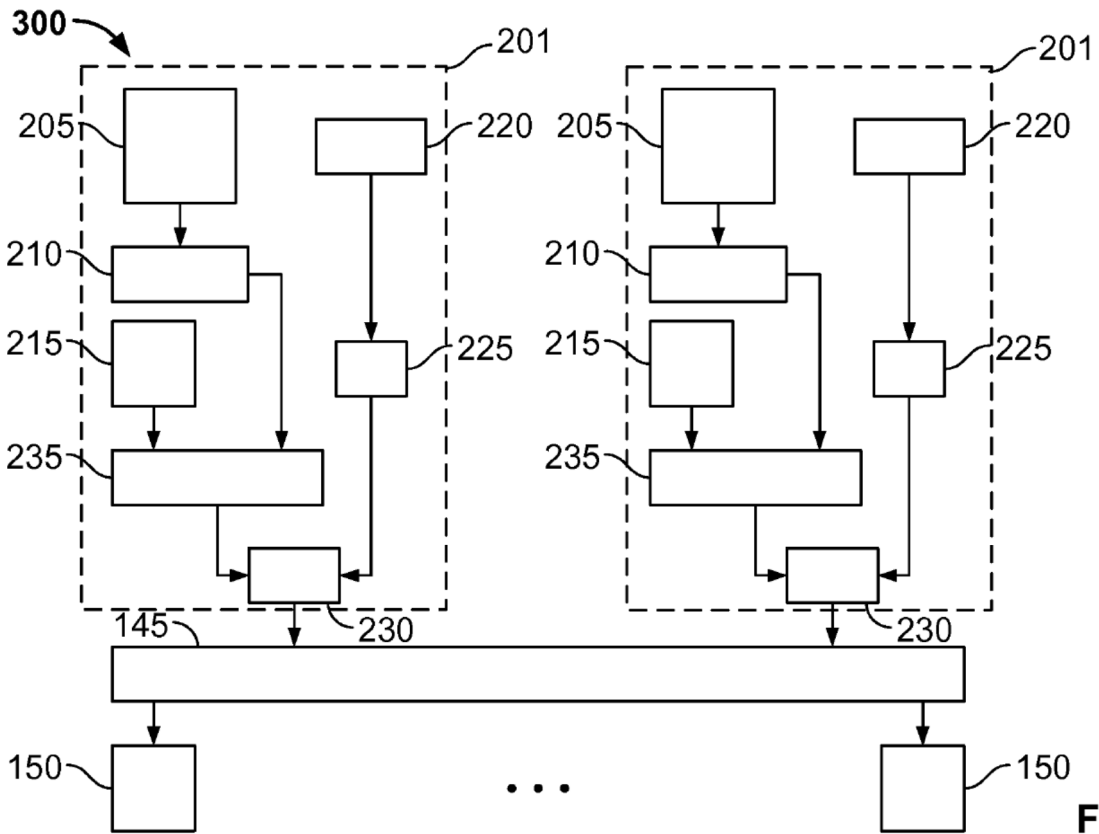


FIG. 3



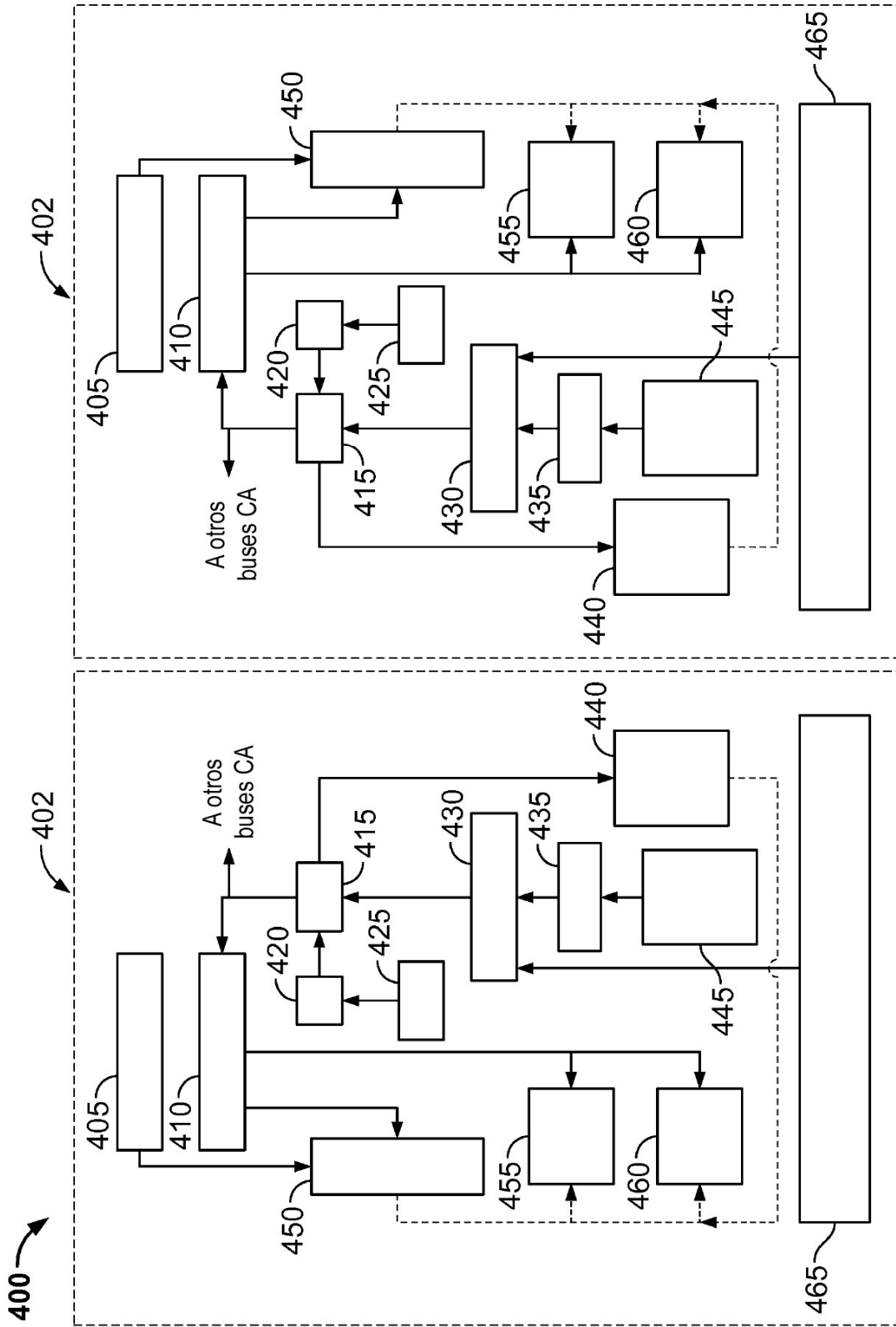


FIG. 4

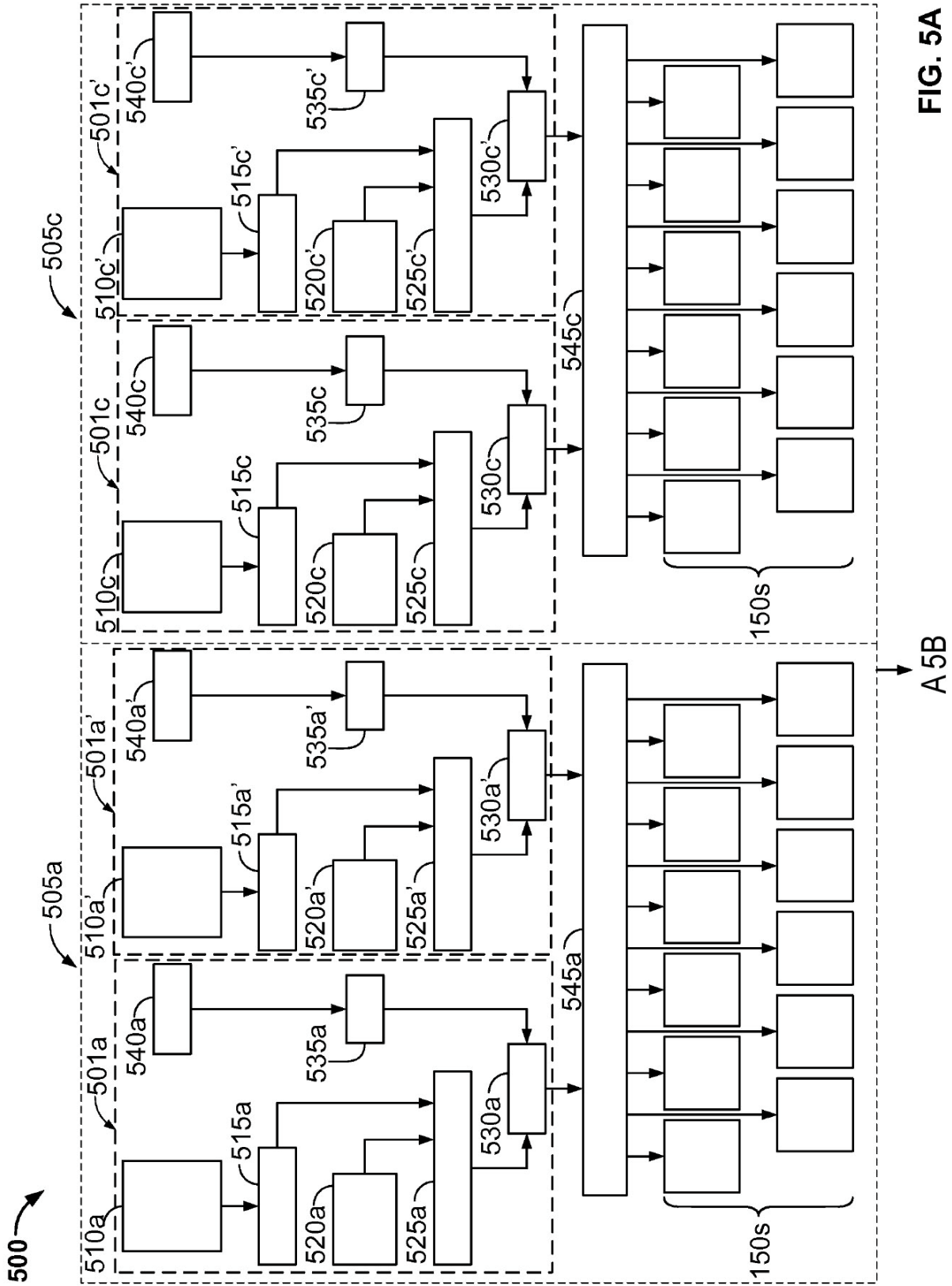


FIG. 5A

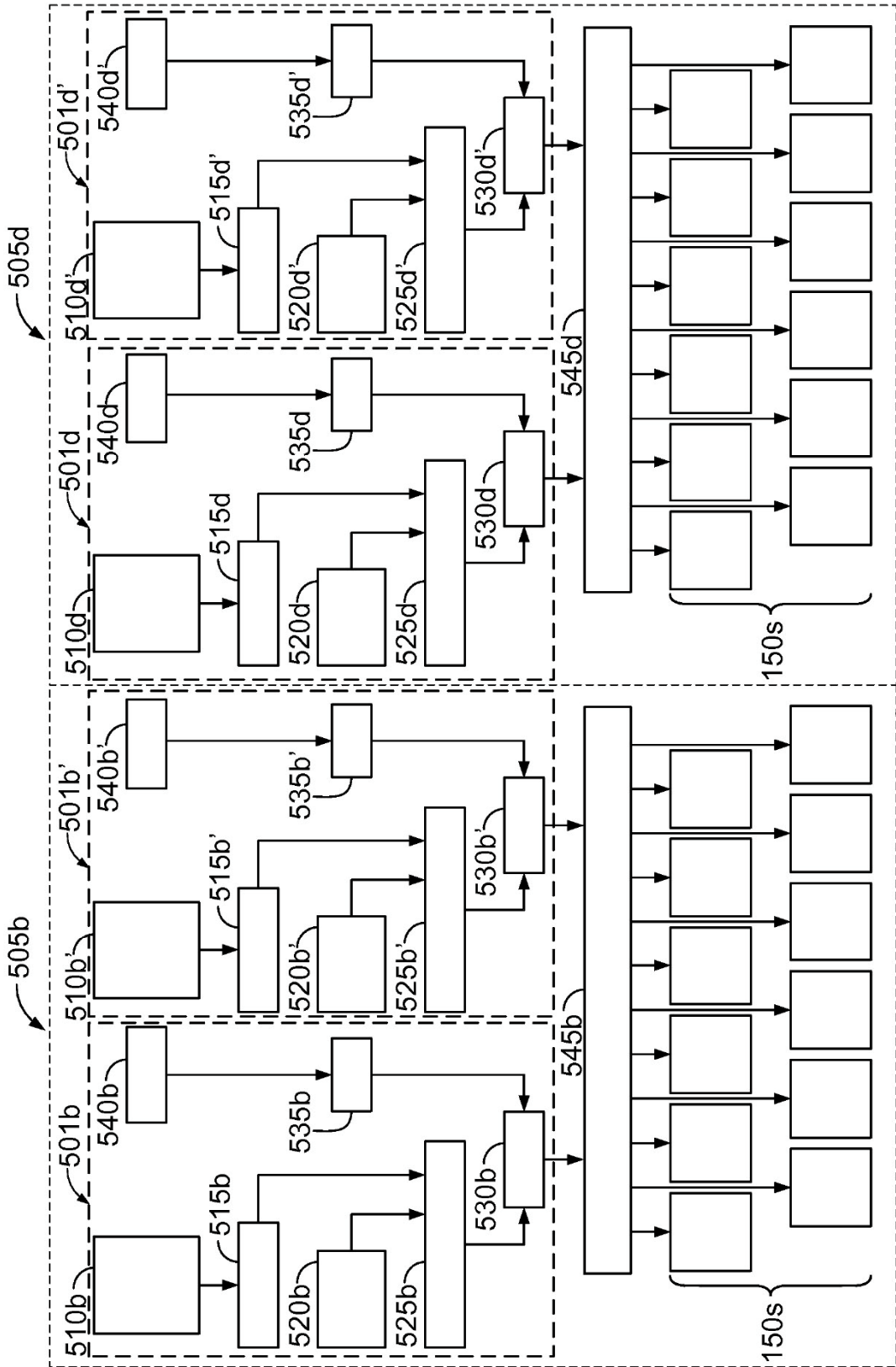


FIG. 5A (Cont.)

A 5B

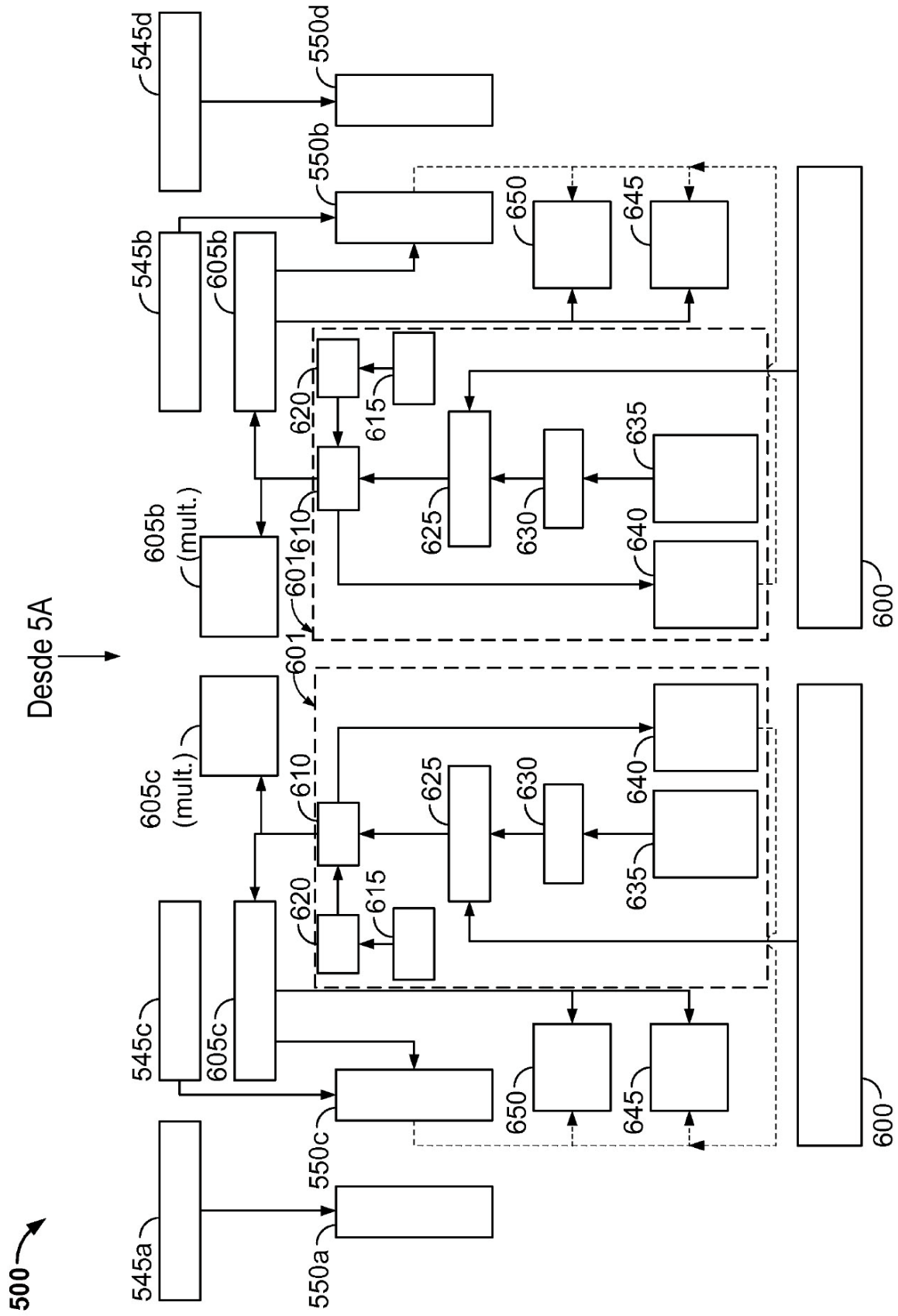


FIG. 5B

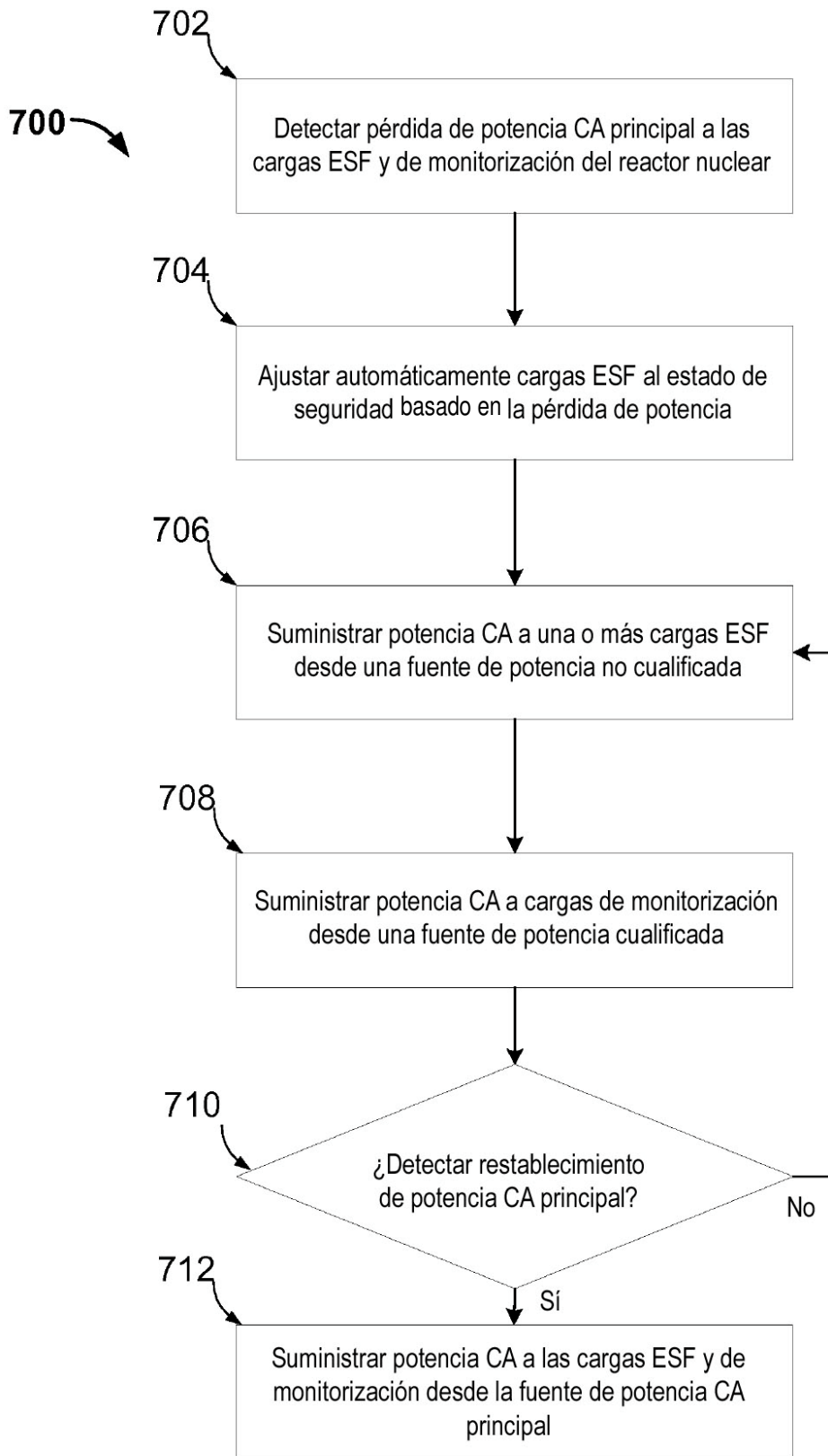


FIG. 6