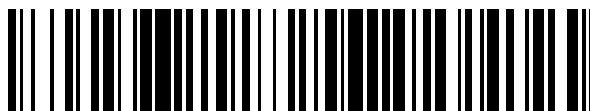


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 435 205**

51 Int. Cl.:

G21C 17/108 (2006.01)

G01T 1/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.07.2009** **E 09165354 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2013** **EP 2166542**

54 Título: **Sistema y procedimiento de supervisión del intervalo de potencia local del núcleo de un reactor de agua en ebullición**

30 Prioridad:

16.09.2008 US 283796

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

16.12.2013

73 Titular/es:

**GE-HITACHI NUCLEAR ENERGY AMERICAS LLC
(100.0%)
3901 CASTLE HAYNE ROAD
WILMINGTON, NC 28401, US**

72 Inventor/es:

**TAN, DANIEL QI y
KROK, MICHAEL JOSEPH**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 435 205 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

Sistema y procedimiento de supervisión del intervalo de potencia local del núcleo de un reactor de agua en ebullición

La invención se refiere, en general, a la supervisión del intervalo de potencia local de reactores nucleares y, más específicamente, al uso de un cable coaxial con aislamiento altamente dieléctrico para lograr mediciones del nivel de potencia local en estado estacionario del núcleo de un reactor.

Un procedimiento de supervisión del intervalo de potencia local (LPRM) de un reactor de agua en ebullición se basa en una técnica de sonda intranuclear de movimiento transversal (TIP). La figura 1 ilustra un reactor de agua en ebullición conocido en la técnica. Un procedimiento LPRM conocido usa un sensor de neutrones o gamma en el extremo de un cable de accionamiento helicoidal de 200 pies (61 metros) para obtener un perfil de potencia tridimensional. La inserción de la TIP asociada y las operaciones de evacuación requieren un mantenimiento considerable, están sujetas a contaminación por radiación, adolecen de una recogida de datos lenta, requieren una zona de recepción grande y tienen inexactitudes espaciales no deseables.

Otro procedimiento de supervisión del intervalo de potencia local de un reactor de agua en ebullición se basa en un termómetro gamma para medir temperatura. La técnica de termómetro gamma, sin embargo, tiene una exactitud inferior a la asociada con técnicas de TIP, tiene una vida útil desconocida y altos costes de mantenimiento.

Un procedimiento propuesto de supervisión del intervalo de potencia local de un reactor de agua en ebullición se refiere a la medición de cambios en la impedancia de un cable coaxial aislado con mineral que incluye la ionización de un gas inerte introducido en un polvo de Al_2O_3 o MgO suelto. El procedimiento propuesto anteriormente es un concepto más novedoso que usa un cable coaxial con técnicas de reflectometría de dominio temporal (TDR). Aunque este concepto supera muchas de las desventajas asociadas con las técnicas de TIP y de termómetro gamma conocidas en la técnica, deja aún espacio para aumentar la exactitud espacial.

Por el documento US 4.404.164 A se conoce un aparato de supervisión de flujo de neutrones que comprende un cable coaxial con un aislamiento mineral que usa Al_2O_3 como material dieléctrico.

En vista de lo anterior, sería ventajoso proporcionar un procedimiento de supervisión del intervalo de potencia local de un reactor de agua en ebullición que evite los problemas anteriores.

En la reivindicación 1 se define un sistema de supervisión del intervalo de potencia local (LPRM) del núcleo de un reactor de agua en ebullición (BWR) según la invención. Otras realizaciones se proporcionan en las reivindicaciones dependientes.

En la reivindicación 10 se define un procedimiento de supervisión del nivel de potencia local del núcleo de un reactor de agua en ebullición (BWR) según la invención. Otras realizaciones se proporcionan en las reivindicaciones dependientes.

Dibujos

A continuación se presenta una descripción detallada de realizaciones de la invención a modo de ejemplo solo con referencia a los dibujos adjuntos, en los que: Estas y otras características, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor cuando se lea la descripción detallada siguiente con referencia a las figuras adjuntas en las que caracteres similares representan partes similares en todas las figuras, en las que:

La figura 1 ilustra un reactor nuclear conocido en la técnica;

La figura 2 ilustra con mayor detalle el núcleo del reactor y tubos de instrumentación representados en la figura 1;

La figura 3 es un trozo longitudinal de un cable de tipo coaxial con aislamiento altamente dieléctrico según una realización de la invención; y

La figura 4 ilustra una pluralidad de ubicaciones de instrumentación de medición TDR adecuadas para usar con el cable de tipo coaxial con aislamiento altamente dieléctrico mostrado en la figura 3, según una realización de la invención.

Aunque las figuras dibujadas identificadas anteriormente establecen realizaciones particulares, también se consideran otras realizaciones de la presente invención, tal como se indica en la discusión. En algunos casos, la presente divulgación presenta realizaciones ilustradas de la presente invención a modo de representación y no de limitación. Pueden realizarse numerosas modificaciones y realizaciones por parte de los expertos en la técnica y entran dentro del alcance de la presente invención, definida en las reivindicaciones.

Descripción detallada

Las realizaciones descritas en el presente documento usan el cambio de impedancia de un cable coaxial aislado con un mineral altamente dieléctrico no lineal al someterlo a irradiación de neutrones y/o gamma para medir el nivel de

potencia local para establecer un perfil de potencia tridimensional a lo largo de la longitud completa del núcleo del reactor nuclear tal como el núcleo de un reactor de agua en ebullición (BWR) representado en la figura 1. Pueden realizarse múltiples mediciones en un intervalo de segundos y con una resolución espacial de aproximadamente 1,27 cm (media pulgada) usando una técnica de reflectometría de dominio temporal (TDR) para obtener cambios temporales en la impedancia característica asociados con el cable coaxial con aislamiento altamente dieléctrico que está configurado como una línea de transmisión. La impedancia característica está asociada con el cambio de constante dieléctrica alta y/o la ionización del gas inerte de relleno en el cable coaxial provocados por la irradiación de neutrones y/o gamma.

Las realizaciones de la línea de transmisión del cable coaxial que se describen a continuación con referencia a las figuras evitan el uso de óxidos sencillos convencionales tales como, sin limitación, alúmina, sílice, magnesita, vidrio y hafnia, que tienen una constante dieléctrica baja. Según algunos aspectos de la invención, el cable coaxial aislado con mineral altamente dieléctrico no lineal usa materiales cerámicos de constante dieléctrica alta tales como óxido de circonio, lantano, titanio y plomo ferroeléctricos no lineales y materiales antiferroeléctricos de niobato de sodio.

Los inventores presentes reconocen que aunque constantes dieléctricas más elevadas disminuyen la distancia espacial entre los nodos de interrupción de una línea de transmisión, puede lograrse una resolución más elevada aunque la transmisión de la señal se vuelva más lenta.

Según una realización de un procedimiento para supervisar el nivel de potencia local del reactor de agua en ebullición, al menos una porción de una línea de transmisión de un cable coaxial aislado con un mineral altamente dieléctrico no lineal se inserta dentro del núcleo del reactor de agua en ebullición de modo que se mida el cambio de la impedancia característica asociado con la línea de transmisión del cable coaxial aislado con un mineral altamente dieléctrico no lineal en respuesta a al menos una de entre irradiación de neutrones o irradiación gamma generada por el núcleo del reactor. Esta técnica logra de forma ventajosa una exactitud y una resolución espacial superiores a las que pueden lograrse usando técnicas y materiales conocidos. Otras ventajas sobre sistemas y procedimientos conocidos incluyen, sin limitación, 1) capacidad para recoger múltiples series de datos en un intervalo de un par de segundos, a diferencia de las aproximadamente dos horas requeridas cuando se usan técnicas de TIP existentes; 2) ningún requerimiento de uso de gas inerte para facilitar el cambio de impedancia, debido a que los materiales altamente dieléctricos tales como materiales cerámicos muestran un cambio considerable en sus propiedades dieléctricas al someterlos a irradiación; 3) puede influirse simultáneamente en el gas de relleno y su ionización al someterlo a irradiación con polvo suelto cuando se requiere cambiar la impedancia característica; 4) los materiales altamente dieléctricos son más resistentes a radiación gamma o de neutrones y presentan una vida útil más larga; y 5) el uso de la línea de transmisión del cable coaxial con aislamiento altamente dieléctrico proporciona un sistema de supervisión que es más económico de poner en marcha que sistemas y técnicas de supervisión conocidos.

Las realizaciones descritas más adelante que se describen con más detalle con referencia a las figuras usan materiales dieléctricos en una configuración de cable coaxial que son diferentes a los materiales dieléctricos de óxidos o nitruros convencionales que se usan generalmente para elaborar cables coaxiales. Estos materiales dieléctricos diferentes pueden estar en forma de un polvo dieléctrico compacto para proporcionar una distribución uniforme del polvo y, por lo tanto, una calidad mejorada del cable coaxial. Algunas realizaciones usan la ionización de gas inerte tal como, sin limitación, N₂, Ar, Xe y/o combinaciones de los mismos. Los inventores de la presente invención reconocen que el efecto combinado de la ionización del gas y el cambio directo de la constante dieléctrica del material al someterlo a irradiación puede ofrecer información adicional con respecto a cambios de impedancia.

Las configuraciones de los que cables que usan un polvo suelto en combinación con gas inerte también pueden usar la ionización del gas en combinación con cambios de impedancia del polvo suelto para aumentar significativamente la calidad y la sensibilidad de la señal de TDR.

Con referencia de nuevo a la figura 1, puede observarse un reactor nuclear 10 convencional que incluye un núcleo 12 de reactor de agua en ebullición. Están integrados una pluralidad de tubos de instrumentación 14 en el núcleo 12 del BWR y están configurados de modo que pueda insertarse al menos un sensor tal como un sensor de neutrones y/o gamma en cada tubo 14 para acomodar el aparato de supervisión del intervalo de potencia local mediante técnicas de detección de flujo conocidas.

La figura 2 ilustra el núcleo del reactor 12 y los tubos de instrumentación 14 con mayor detalle. Cada tubo 14 incluye generalmente un mínimo de 7-9 puntos de supervisión 16, pero en una realización tendrá puntos de supervisión espaciados en incrementos de 2,54 cm (una pulgada) a lo largo de la longitud completa del núcleo del reactor.

La figura 3 ilustra un cable 20 de tipo coaxial aislado con mineral altamente dieléctrico no lineal según una realización de la invención. El cable 20 de tipo coaxial aislado con mineral altamente dieléctrico no lineal puede estar agrupado junto con una pluralidad de barras de reactor (típicamente cuatro barras) insertadas en el núcleo del reactor 12 para formar un sistema de dispositivos medidores. Están insertados en el núcleo 12 del reactor una pluralidad de dichos sistemas de dispositivos medidores para proporcionar los datos de LPRM deseados. Los tubos de instrumentación 14 mostrados en las figuras 1 y 2 están reemplazados, por lo tanto, por los sistemas de dispositivos medidores de modo que cada tubo 14 corresponda a un sistema de dispositivos medidores según un aspecto de la invención.

El cable 20 de tipo coaxial con aislamiento altamente dieléctrico comprende un electrodo conductor eléctrico interior (ánodo) 22 que está protegido por una capa aislante 24. La capa aislante 24 evita el uso de materiales convencionales de baja permitividad que incluyen óxidos sencillos tales como, sin limitación, alúmina, sílice, magnesia, vidrio y hafnia, que tienen una constante dieléctrica baja. La capa aislante 24 también evita el uso de polvos sueltos y el uso de gas inerte solo o en combinación con polvos sueltos, evitando de este modo la posibilidad de aglomeración del polvo y la distribución no uniforme, que puede disminuir la calidad de la señal TDR y la certeza de una explicación apropiada de los datos, entre otras cosas, tal como se han establecido anteriormente.

Según algunos aspectos de la invención, el cable 20 de tipo coaxial aislado con mineral altamente dieléctrico no lineal usa un material o materiales de constante dieléctrica alta, no lineales, con una permitividad alta que incluyen, sin limitación, materiales cerámicos tales como óxido de circonio, lantano, plomo y titanio ferroeléctrico no lineal y materiales antiferroeléctricos de niobato de sodio para formar la capa aislante 24 y, de este modo, lograr las ventajas descritas anteriormente. Otros materiales no lineales de constante dieléctrica alta pueden incluir óxido de circonio, plomo y titanio (PbZrTiO_3), titanato de bario (BaTiO_3), titanato de bario y estroncio (BaSrTiO_3), óxido de bismuto y titanio modificado con lantano ($(\text{BiLa})_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$), óxido de bismuto, estroncio y tántalo ($\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$), circonato de plomo (PbZrO_3), óxido de niobato de magnesio y plomo (PbMgNbO_3), óxido de magnesio, niobio, plomo y titanio (PbMgNbTiO_3) u óxido de circonio, niobio, níquel, plomo y titanio (PbNiNb-PbZrTiO_3).

Algunas realizaciones del cable 20 de tipo coaxial aislado con mineral no lineal altamente dieléctrico pueden usar una combinación de materiales dieléctricos lineales y no lineales para formar la capa aislante 24 y para lograr ventajas adicionales tales como, sin limitación, estabilidad a alta temperatura. Los inventores de la presente invención hallaron que los materiales no lineales con una alta permitividad están provistos de una sensibilidad superior a la exposición a radiación mediante un cambio o cambios de la impedancia característica asociados con el cable 20 de tipo coaxial aislado con mineral altamente dieléctrico no lineal consecuencia de la exposición a radiación, especialmente debido a que la impedancia está relacionada con la permitividad. Una permitividad (constante dieléctrica) que sea superior a aproximadamente diez (10) es adecuada para proporcionar una solución viable según los principios descritos en el presente documento; mientras que un nivel de permitividad superior, es decir, superior a aproximadamente 30, proporciona resultados más deseables. La constante dieléctrica puede ser tan alta como aproximadamente 100.000 para algunos materiales altamente dieléctricos. En los dos casos previos, el electrodo base exterior mostrado en la figura 3 puede eliminarse dejando un diseño de cable coaxial sencillo que consiste en solo un aislante 24 no lineal de permitividad alta entre los dos electrodos 22, 26, en el que el electrodo exterior 26 es el electrodo de protección del cable coaxial.

La capa aislante 24 puede usar en algunas reivindicaciones una combinación de material o materiales no lineales altamente dieléctricos y un gas inerte de modo que el cambio de la impedancia característica provocado por la exposición a radiación sea una función de la ionización del gas inerte en combinación con el cambio en la impedancia activado directamente del material o los materiales no lineales altamente dieléctricos.

El cable 20 de tipo coaxial aislado con mineral altamente dieléctrico no lineal también comprende un electrodo conductor eléctrico exterior (cátodo) 26 que constituye una protección para el electrodo conductor eléctrico interior 22 y que puede usarse para ayudar en la generación de datos de TDR. Las técnicas de medición de reflectometría de dominio temporal (TDR) se usan para determinar la impedancia característica terminal y la ubicación de cambios en la impedancia a lo largo de la línea de transmisión coaxial. Una TDR usa un generador de onda escalonada de voltaje de formación muy rápida y un osciloscopio de anchura de banda ancha en una disposición que representa un radar de bucle cerrado. Una onda escalonada de voltaje incidente, emitida por un generador de onda escalonada en una línea de transmisión coaxial se mueva hacia adelante y se propaga hacia el extremo más lejano de la línea de transmisión coaxial. Cualquier cambio en la impedancia característica inicial fomentado a lo largo de la longitud de la línea de transmisión coaxial hace que parte de la energía de la onda escalonada de voltaje incidente vuelva reflejada en la línea de transmisión coaxial en sentido inverso hacia el generador de onda escalonada. La amplitud del voltaje incidente y la amplitud del voltaje reflejado se miden para determinar la cantidad del cambio en la impedancia provocado por los cambios en la impedancia característica terminal que tienen lugar a lo largo de la longitud de la línea de transmisión coaxial. Las técnicas de medición TDR son bien conocidas y están bien documentadas en la literatura y, por lo tanto, no se describen en el presente documento detalles adicionales con respecto a técnicas de medición TDR para mantener la brevedad y potenciar la claridad en el entendimiento de las realizaciones descritas en el presente documento.

Según una realización, la instrumentación de medición electrónica para determinar la cantidad y la ubicación de la disminución de la impedancia característica terminal a lo largo de la línea de transmisión coaxial en el núcleo del reactor 12 y obtener información de la potencia local en estado estacionario en base al flujo gamma requiere:

1) una línea de transmisión coaxial aislada con mineral altamente dieléctrico no lineal con un material de aislamiento altamente dieléctrico no lineal compacto opcionalmente relleno con gas inerte para proporcionar una ruta de transmisión desde la parte inferior del recipiente 10 del reactor nuclear a la parte superior del núcleo del reactor 12 en cada una y en todas las ubicaciones de sensores deseadas (que incluirían todas las ubicaciones LPRM típicas según una realización);

2) un generador de onda escalonada de voltaje de formación muy rápida que funciona en un entorno de hasta 150

grados Fahrenheit (65,55 °C) dentro del recinto de confinamiento del reactor (o puede localizarse a distancia en un entorno aceptable para mantener una operación segura y fiable);

3) una red de ajuste/acoplamiento de salida de impedancia para acoplar la salida del generador de la onda escalonada de voltaje a un sistema electrónico de conmutadores de línea de transmisión coaxial y una línea de transmisión coaxial al circuito de instrumentación electrónico que supervisa el tiempo y el valor de la incidencia y la amplitud del voltaje reflejado;

4) un sistema electrónico de conmutadores de línea de transmisión coaxial con una anchura de banda suficiente para conmutar y mantener la integridad de la forma de onda de la onda escalonada de voltaje muy rápida con un tiempo de un nanosegundo o de tiempo de formación inferior desde la salida del generador de la onda escalonada a través del conmutador electrónico hasta una línea de transmisión coaxial en un sensor LPRM y cualquier voltaje reflejado desde la línea de transmisión coaxial en el núcleo del reactor, en el que el sistema electrónico de conmutadores de la línea de transmisión coaxial conmuta la onda escalonada de voltaje desde el generador de la onda escalonada hasta un sensor LPRM individual cualquiera o hasta todos los sensores LPRM secuencialmente;

5) una línea de transmisión coaxial de repuesto en una penetración eléctrica en el recinto de confinamiento del reactor que mantiene la integridad de la forma de onda de los componentes de voltaje incidente y reflejado que comprende la señal de identificación de voltaje TDR;

6) circuito de digitación de la señal y de almacenamiento, velocidad de muestreo digital (10 gigahercios, mínimo) y memoria de almacenamiento digital adecuada para capturar, almacenar y mantener la integridad de señal analógica de al menos 200 señales de identificación de voltaje TDR de retorno secuencial;

7) circuito de procesamiento de la señal necesario para evaluar en continuo los componentes de voltaje incidente y reflejado a lo largo de la línea de transmisión coaxial dentro del núcleo del reactor 12 para determinar la impedancia característica terminal equiparable a un nivel de un potencia del reactor equivalente;

8) circuito de procesamiento temporal necesario para correlacionar los cambios de impedancia característica terminal con las ubicaciones de la impedancia característica terminal que existen a lo largo de la línea de transmisión coaxial dentro del núcleo del reactor 12, en el que la ubicación exacta de la impedancia característica terminal requiere un procesamiento de tiempo que recuenta de forma incremental y corrige el retraso en la propagación de la señal acumulada total debido a todas las ubicaciones que tienen lugar previamente con impedancia característica terminal disminuida que provocan una disminución de la velocidad de propagación de la señal;

9) circuito electrónico para controlar el sistema electrónico de conmutadores de línea de transmisión coaxial con una señal de control serializada diferencial o coaxial para seleccionar un único sensor LPRM o todos los sensores LPRM secuencialmente, en el que la señal de control serializada se envía al conmutador de línea de transmisión coaxial electrónico mediante una línea de transmisión diferencial o coaxial; y

10) una línea de transmisión de repuesto o dos conductores de repuesto para crear una línea de transmisión diferencial dentro de la penetración eléctrica en el recinto de confinamiento del reactor que transmite una señal de control serializada diferencial o coaxial al sistema de conmutadores de línea de transmisión coaxial.

La pluralidad de sistemas de dispositivos de medición formada por los cables 20 de tipo coaxial con aislamiento altamente dieléctrico y que corresponden a barras del reactor que están insertadas en el núcleo del reactor 12 se reemplazan ventajosamente de forma sencilla y se fijan en posición, evitando de este modo la necesidad de partes móviles asociadas con técnicas de medición LPRM conocidas.

La figura 4 ilustra una instrumentación de medición electrónica TDR en una pluralidad de ubicaciones adecuadas para usar con la línea de transmisión coaxial aislada con mineral altamente dieléctrico no lineal según una realización de la invención. Una ubicación 30 de la instrumentación de medición TDR adecuada está dispuesta dentro de la cámara de presión del reactor nuclear 10. Otra ubicación 32 de instrumentación de medición TDR adecuada está dispuesta dentro de una sala de control localizada fuera del reactor nuclear 10.

En resumen, se usa una disminución temporal de la impedancia característica de una línea de transmisión coaxial que es proporcional al nivel de radiación para obtener información del nivel de potencia local en estado estacionario para calibrar instrumentación y establecer un perfil de potencia tridimensional de un núcleo de un reactor nuclear con un sistema electrónico que no tiene partes móviles. Las mediciones de reflectometría de dominio temporal realizadas en una línea de transmisión coaxial aislada con mineral no lineal, altamente dieléctrico, rígido/de línea dura, sencillo y económico en ubicaciones de sensores LPRM obtendrá en continuo un escáner axial del nivel o los niveles de radiación del reactor nuclear a lo largo de la longitud total del núcleo de un reactor nuclear que es proporciona al nivel de radiación.

Las realizaciones y principios descritos en el presente documento, a pesar de la tecnología existente que requiere condiciones de estado estacionario, permite la supervisión de condiciones en estado transitorio o estacionario, abriendo un nuevo régimen de supervisión no disponible previamente usando técnicas conocidas. Además, la

5 tecnología existente realiza generalmente una medición cada 2,54 cm (una pulgada), mientras que las realizaciones y principios descritos en el presente documento permiten un número de lecturas de mediciones, o permiten el mantenimiento de la técnica de 2,54 cm (una pulgada), pero con el beneficio añadido de hacerlo con una velocidad muy rápida (segundos usando los principios descritos anteriormente en comparación con horas usando técnicas y procedimientos conocidos).

Aunque en el presente documento se han ilustrado y descrito sólo determinadas características de la invención, los expertos en la técnica plantearán muchas modificaciones y cambios. Debe entenderse, por lo tanto, que las reivindicaciones adjuntas se pretende que cubran todas dichas modificaciones y cambios que se encuentren dentro del alcance de la invención que está definida por las reivindicaciones.

10

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de supervisión del intervalo de potencia local (LPRM) del núcleo (12) de un reactor de agua en ebullición (BWR), comprendiendo el sistema:

una longitud deseada de un cable de tipo coaxial (20) aislado con un material mineral (24) que tiene una constante dieléctrica alta dentro del núcleo de un reactor de agua en ebullición (12); y el aislamiento (24) muestra un cambio en las propiedades dieléctricas al someterlo a irradiación de neutrones o gamma;

caracterizado por

un aparato de reflectometría de dominio temporal (30) configurado para medir un cambio en la impedancia característica temporal de un cable de tipo coaxial (20) en respuesta a al menos una de entre una irradiación de neutrones o una irradiación gamma generada por el núcleo del reactor (12).

2. El sistema LPRM del núcleo del BWR según la reivindicación 1, en el que el aislamiento (24) del cable (20) comprende un material de aislamiento (24) dieléctrico no lineal.

3. El sistema LPRM del núcleo del BWR según la reivindicación 2, en el que el aislamiento (24) comprende también un gas inerte combinado con el material de aislamiento (20) no lineal altamente dieléctrico.

4. El sistema LPRM del núcleo del BWR según la reivindicación 3, en el que el gas inerte comprende al menos uno de entre nitrógeno, argón, xenón o combinaciones de los mismos.

5. El sistema LPRM del núcleo del BWR según la reivindicación 2, en el que el material aislante (24) comprende al menos uno de entre óxido de circonio, lantano, plomo y titanio ferroeléctrico no lineal, materiales antiferroeléctricos de niobato de sodio, óxido de circonio, plomo y titanio (PbZrTiO_3), titanato de bario (BaTiO_3), titanato de bario y estroncio (BaSrTiO_3), óxido de bismuto y titanio modificado con lantano ($(\text{BiLa})_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$), óxido de bismuto, estroncio y tántalo ($\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$), circonato de plomo (PbZrO_3), óxido de niobato de magnesio y plomo (PbMgNbO_3), óxido de magnesio, niobio, plomo y titanio (PbMgNbTiO_3) u óxido de circonio, niobio, níquel, plomo y titanio (PbNiNb-PbZrTiO_3).

6. El sistema LPRM del núcleo del BWR según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el cable de tipo coaxial (20) aislado con el mineral altamente dieléctrico comprende un material aislante en polvo compacto.

7. El sistema LPRM del núcleo del BWR según la reivindicación 6, en el que el cable de tipo coaxial (20) aislado con el mineral altamente dieléctrico comprende adicionalmente un gas inerte combinado con el material aislante en polvo compacto (24).

8. El sistema LPRM del núcleo del BWR según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el cable de tipo coaxial (20) aislado con el mineral altamente dieléctrico tiene una constante dieléctrica que no es inferior a aproximadamente 10.

9. El sistema LPRM del núcleo del BWR según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la longitud deseada es la longitud del núcleo del reactor BWR (12).

10. Un procedimiento de supervisión del nivel de potencia del núcleo de un reactor de agua en ebullición (BWR), comprendiendo el procedimiento:

proporcionar una longitud deseada de un cable de tipo coaxial aislado con un material mineral (24) que tiene una constante dieléctrica alta y el aislamiento muestra un cambio en las propiedades dieléctricas al someterlo a irradiación de neutrones o gamma,

agrupar la longitud deseada del cable de tipo coaxial aislado con mineral altamente dieléctrico no lineal con una pluralidad de barras de celda de combustible para formar un sistema de línea de transmisión que tiene una impedancia característica;

insertar al menos una porción del sistema de línea de transmisión dentro del núcleo del reactor de agua en ebullición y

medir el cambio de impedancia característica asociado con el cable de tipo coaxial aislado con mineral altamente dieléctrico no lineal en respuesta a al menos una de entre una irradiación de neutrones o una irradiación gamma generada por el núcleo del reactor.

11. El procedimiento según la reivindicación 10, que además comprende rellenar con un gas inerte el material aislante mineral altamente dieléctrico no lineal.

12. El procedimiento según la reivindicación 11, que además comprende medir un cambio en el nivel de ionización del gas inerte en respuesta a al menos una de entre una irradiación de neutrones o una irradiación gamma generada por el núcleo del reactor.

13. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 10-12, en el que el material aislante es un material compacto.

14. El procedimiento según la reivindicación 13, que además comprende rellenar con un gas inerte el material compacto.

10

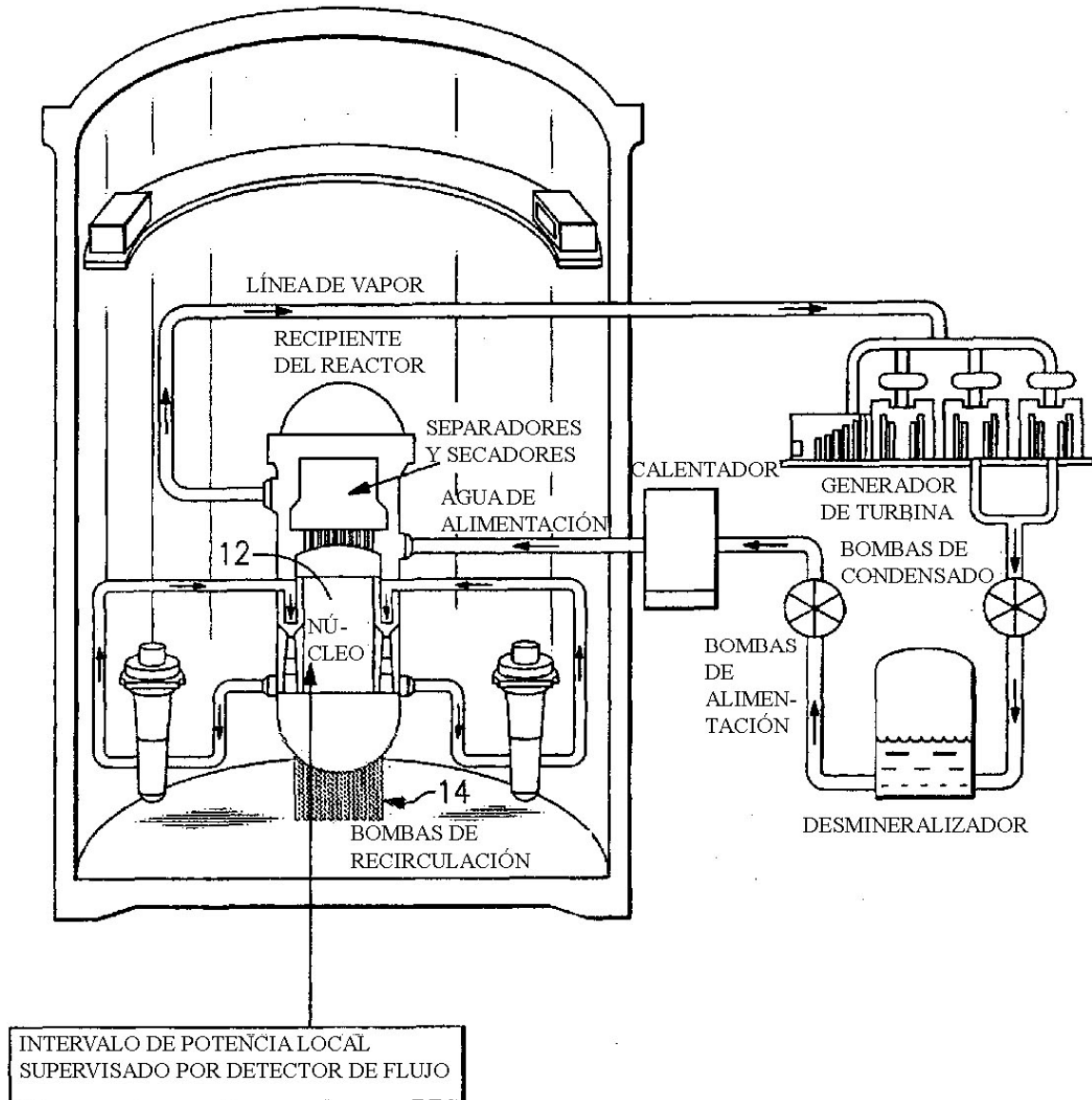


FIG.1

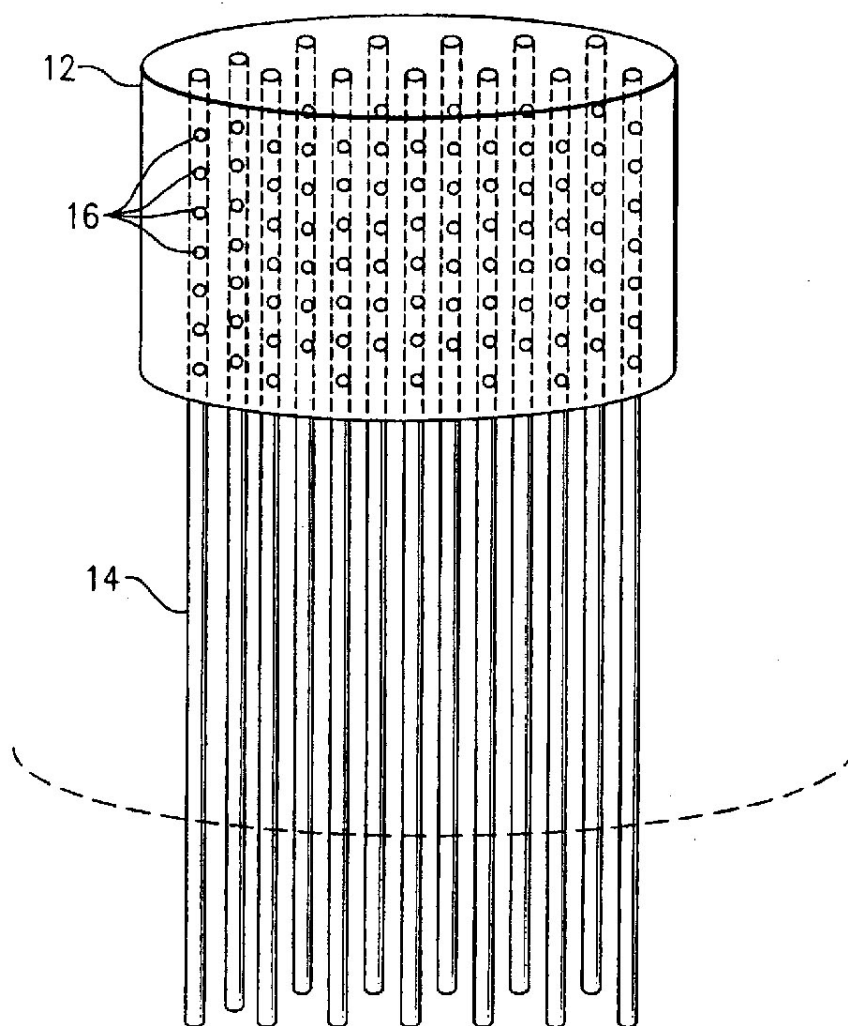


FIG.2

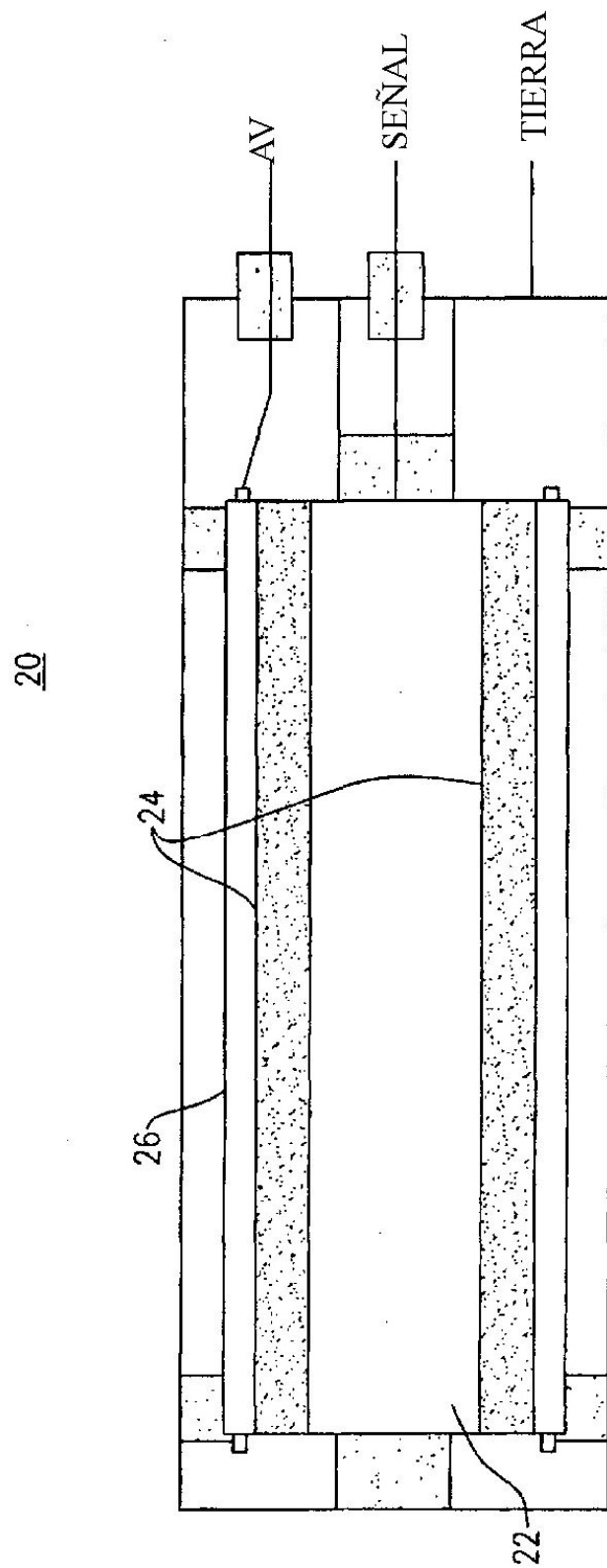


FIG.3

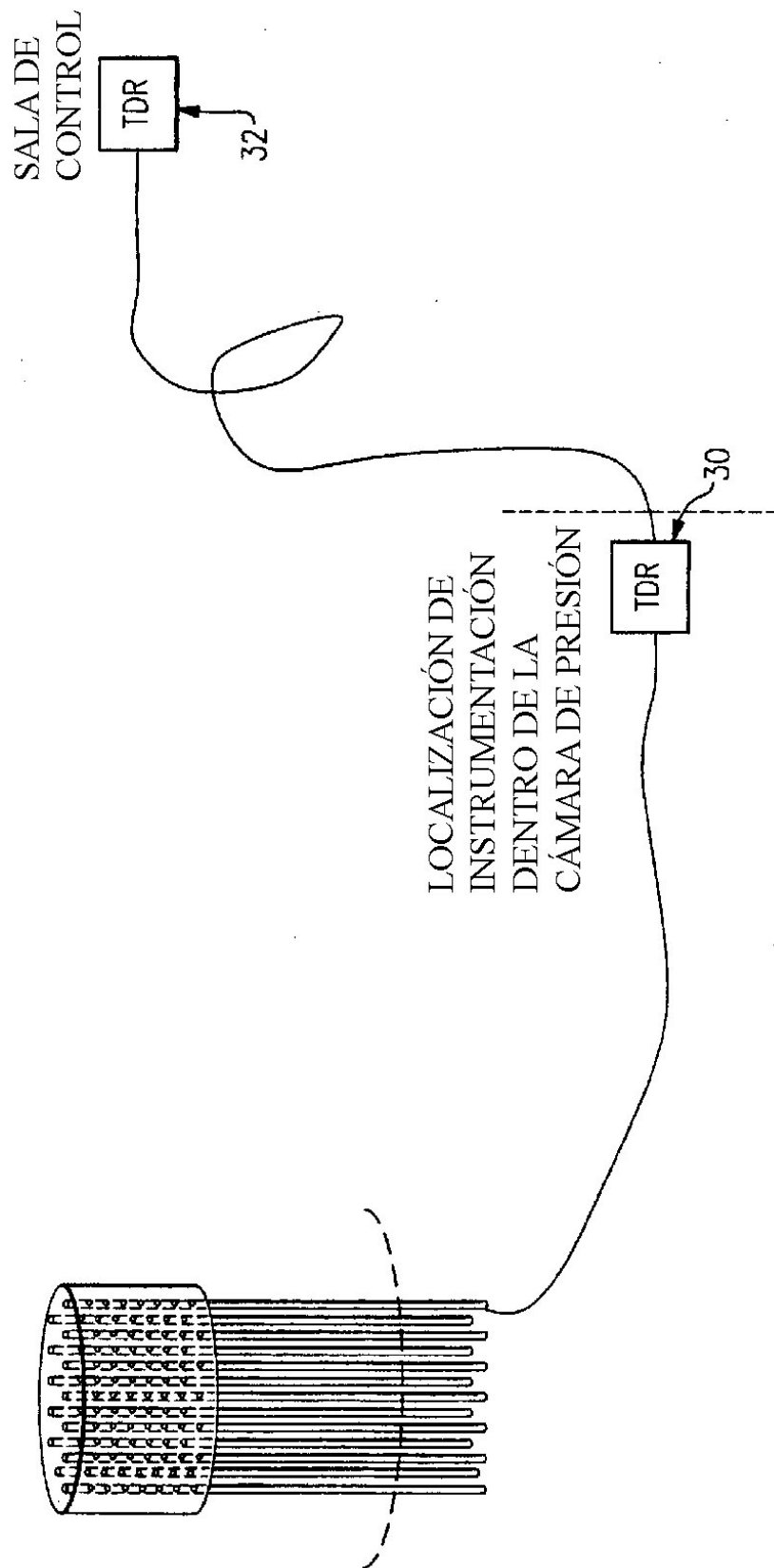


FIG.4