



434.575

PATENTE DE INVENCIÓN

por 20 años

A favor de THE BABCOCK & WILCOX COMPANY, razón social norteamericana, domiciliada en NEW YORK, N.Y. 10017 (U.S.A.) 161 East 42nd Street. - - -

Por: "PERFECCIONAMIENTOS EN LOS CONDUCTORES ELECTRICOS". - - - - -

MEMORIA DESCRIPTIVA

5 Esta invención se refiere a unos perfeccionamientos en los conductores eléctricos, y más especialmente a un método y aparato para reducir las corrientes eléctricas de radiación inducida que se generan en los cables que transmiten señales desde los detectores de neutrones de un reactor nuclear y similares.

Para hacer funcionar un reactor nuclear a la máxima seguridad y eficiencia debe cumplirse fielmente



la distribución de neutrones dentro del núcleo del reactor. Para tener información con respecto a estas partículas nucleares los detectores se colocan en lugares específicos dentro del núcleo del reactor.

5 Esta agrupación de detectores debería generar señales eléctricas que facilitarían un "mapa" o indicación casi instantánea de toda la distribución de neutrones dentro del núcleo, así como cualquier variación local de esta distribución en intensidades previstas.

10 Típicamente, esta clase de detector automotriz tiene un "emisor" dispuesto en el centro que responde a la radiación neutrónica emitiendo electrones de energía relativamente elevada ("partículas beta"). La energía de estos electrones es suficiente para atravesar un manguito
15 o anillo de material aislante que incluya al emisor dispuesto en el centro para permitir a estos electrones chocar con un "captador" o funda exterior eléctricamente conductor. Por regla general, la intensidad de los neutrones incidentes está relacionada con la producción de partículas beta.
20 En consecuencia, la corriente eléctrica, que es una forma de expresar la circulación electrónica por un conductor en una unidad de tiempo ofrece una medida de la población neutrónica en el lugar de medición dentro del reactor.

En cualquier caso, para sacar la señal del detector
25 del núcleo del reactor, se acopla el detector a los instrumentos de un cuadro de control por medio de un cable coaxial. Generalmente, estos cables tienen un hilo conductor dispuesto en el centro que está aislado eléctricamente o aislado de una funda circundante eléctricamente conductora.
30 Al objeto de impedir la producción de electrones inducidos



por neutrones y por tanto convertir toda la longitud del cable en un detector de neutrones se eligen los materiales del cable de un grupo de aquellos que no posean sensibilidad neutrónica y poca probabilidad de reacciones electrón-neutrón. Sin embargo, ciertas partes importantes de este cable coaxial de conexión quedan expuestas a la radiación gamma que se genera dentro del núcleo. Naturalmente esta radiación produce otras corrientes no deseadas y no relacionadas con la población neutrónica en los respectivos puntos de medida mediante el mecanismo de generación electrónica "Compton" y otros fenómenos electrón-rayos gamma de los cuales son típicos los fenómenos de emisión termoiónica y "fotoeléctrica".

Se han originado una serie de técnicas para exteriorizar o contrarrestar estas señales falsas que se inducen en los cables. Por ejemplo, en un caso, la agrupación de detectores que se aloja en un núcleo de reactor está provista como mínimo de un cable que no se conecta a un detector de neutrones. Este cable no conectado produce una corriente que se detrae de las otras señales del detector de núcleo dentro. Esta respuesta del cable deducida manualmente o mediante cálculo automático de cada una de las señales del detector observadas, elimina aproximadamente esta parte de la señal del detector no corregida atribuible a las corrientes eléctricas inducidas por rayos gamma en el cable del detector.

Otra de las técnicas para compensar estas corrientes de cable inducidas utiliza un solo cable que tiene dos hilos conductores aislados, mutuamente entrela-



zados. Uno de los hilos conductores está conectado a un detector de neutrones para tener una señal de "cable" y un detector de neutrones combinado. El otro hilo conductor no está conectado a un detector y por tanto sólo genera una señal de "cable" de fondo. La resta algebraica de estas dos señales debe ofrecer un resultado que sea esencialmente una indicación de la población neutrónica en el lugar de medida dentro del núcleo del reactor. Todos estos sistemas de corrección exigen como mínimo un hilo conductor más y la previsión de una resta algebraica o su equivalente.

Estos intentos de resolver el problema de la compensación de la señal de fondo exigen más materiales, mano de obra y capacidad de computador. Al introducir estos factores, el sistema de medida de la población neutrónica se hace algo más vulnerable al fallo. Claramente existe entonces la necesidad de una técnica compensadora de la señal de fondo del cable que sea más eficiente y segura.

Según la invención se han resuelto en gran parte las precedentes dificultades que han caracterizado la práctica anterior. Y más particularmente, mediante una selección adecuada, según los principios de la invención, de las medidas y materiales de la funda y del hilo conductor a utilizar en el cable detector, se anulan esencialmente las corrientes de cable inducidas por radiaciones gamma.

La señal de un detector de neutrones acoplado a un cable construido según estos principios refleja generalmente la población de neutrones en el núcleo del reactor y en el lugar de medida con la exclusión de cualesquiera corrientes parásitas inducidas en el cable



por medio de las interacciones de los rayos gamma con los materiales de la funda y del hilo conductor. Y más concretamente, los electrones liberados de la funda y que van del aislador interpuesto al hilo conductor producen una corriente negativa neta. Los electrones que circulan en dirección opuesta desde el hilo conductor a la funda producen a su vez, una corriente positiva neta al medirla en los terminales del hilo conductor y de la funda. Según una característica de la invención, se ha observado que esta emisión de electrones de radiación gamma inducida es casi proporcional a la zona de la superficie emisora. También se ha observado que estas emisiones de electrones son proporcionales a cierta potencia del número atómico (Z) del elemento que está sujeto a la irradiación de rayos gamma. En este último caso, las reacciones fotoeléctricas son proporcionales a la quinta potencia de Z y los electrones "Compton" son sólo proporcionales a Z . Así pues, la emisividad electrónica está relacionada no solamente con las zonas superficiales de la funda y del hilo conductor sino también con cierta potencia entre 1 y 5 de los respectivos números atómicos de estos elementos del cable.

En consecuencia, por medio de una aplicación de la invención, se elige un material relativamente bajo en Z para la funda que tenga mayor zona superficial y un material de mayor valor Z para el hilo conductor que tenga menor superficie. En estas circunstancias, las corrientes eléctricas inducidas por los rayos gamma de sentido opuesto terminan en un equilibrio esencialmente igualado o cancelación mutua que se asemeja a una corriente



de fondo neta cero.

Como estos efectos de los rayos gamma son más notables en los materiales densos - acero, níquel y similares, las interacciones de los rayos gamma con el material aislante de baja densidad (por ejemplo, 5 óxido de magnesio, alúmina) son relativamente infrecuentes y su aportación es despreciable con respecto a la producción de electrones de fondo dentro del cable. En esta situación la corriente que se observa en el terminal del cable 10 constituye una medida de la población de neutrones en la proximidad del detector con respecto a la exclusión automática de las corrientes parásitas o de fondo que se hubieren inducido por medio de las interacciones de los rayos gamma con los materiales del cable.

15 Pueden hacerse toda una serie de cables que específicamente cubran estos principios de la invención tomando una funda Inconel 600 que tenga un diámetro exterior de unos 1'575 mm. y un diámetro interior de 1 mm. Se ha visto que el hilo conductor de Zircaloy-2 20 con diámetro 0.28 mm. dispuesto en el centro y coaxial con la funda Inconel 600 en una matriz aislante de óxido de magnesio, por ejemplo, produce una corriente de fondo no superior a 7×10^{-25} amperios por neutrón por centímetro cuadrado por segundo por 2,54 cms. de cable 25 (7×10^{-25} amps/nv-2,54 cms.) en un flujo medio de electrones de unos 1.6×10^{13} nv, en donde la unidad nv representa el flujo de neutrones en términos de neutrones/ (cm²-seg). Esta corriente es menor por un factor de 20 que la corriente inducida en un cable de 30 idénticas características (salvo el hilo conductor



Inconel 600) en un flujo de neutrones similar.

También se ha observado una reducción de corriente de fondo o parásita similar en los experimentos realizados con fundas Inconel 600 diámetro exterior unos 1.346 mm. (espesor de pared unos 0.178 mm.), un aislador de óxido de magnesio compacto y un hilo conductor coaxial de Zirconio de unos 0.19 mm. de diámetro.

Del resultado de los experimentos realizados para comprobar los principios de la invención, puede deducirse que para determinado material y medida de la funda debiera existir un hilo conductor de diámetro determinado de material de mayor número atómico que condujera a la cancelación de la corriente de fondo inducida por radiación gamma. Naturalmente, también debiera ser verda lo opuesto a esta observación. En consecuencia, parece ser que para cualquier material y diámetro del hilo conductor que sea, debiera existir una funda de medida determinada de material de menor número atómico que condujera a una cancelación mutua de la corriente de fondo inducida por radiación gamma.

Los distintos elementos de novedad que caracterizan la invención se destacan específicamente en las reivindicaciones anexas y que forman parte de esta memoria. Para comprender mejor la invención, sus ventajas de funcionamiento y objetos específicos conseguidos con su utilización, conviene acudir a la descripción y dibujo adjuntos, en los cuales se ilustra y describe una realización preferida en la invención.

La única figura del dibujo ilustra una sección



fragmentada de una parte de cable según la invención.

Para una comprensión más completa de la invención se recordará que las dos características físicas predominantes que inciden en la producción de corrientes de fondo inducidas por radiación gamma en el cable del detector de neutrones son:

- 1) Las zonas de las superficies mutuamente opuestas de la funda y del hilo conductor.
- 2) Los respectivos números atómicos de los materiales del hilo conductor y funda.

Desde el punto de vista analítico, el número de electrones inducidos por radiación gamma emitidos desde un hilo conductor dispuesto en el centro dentro de un cable coaxial es proporcional a:

$$Z \frac{d^n}{l} \quad I$$

en donde el sub-índice l identifica al hilo conductor, d representa el diámetro del mismo y el exponente n depende de la aportación relativa de los efectos "Compton" y fotoeléctricos a la corriente de fondo. En este caso, el exponente n debe ser cierto número entre 1 y 5.

Naturalmente Z es el número atómico del hilo conductor.

Además, el número de electrones que abandona a la funda del cable también es proporcional a:

$$Z \frac{d^m}{s} \quad II$$

en donde el sub-índice s identifica a la funda y m depende de las aportaciones relativas de los efectos "Compton" y fotoeléctricos hacia la emisión de electrones.



Para establecer el equivalente matemático de las corrientes de circulación igual y opuesta entre la funda y el hilo conductor se han igualado las expresiones I y II:

$$5 \quad 0 = Z_{\ell}^n a_{\ell} - Z_s^m a_s, \quad \text{III}$$

En estas circunstancias, es evidente que puede producirse una condición cero para el caso de un hilo conductor necesariamente de pequeño diámetro dentro de una funda de mayor diámetro mediante cierta manipulación de los respectivos números atómicos (Z_{ℓ} , Z_s) y los exponentes correspondientes (n , m). Más concretamente, el efecto neto del número atómico y del exponente de la emisión de electrones que caracteriza al material de la funda debe ser bajo en relación al número atómico y exponente de emisión de electrones del hilo conductor al objeto de anular mutuamente las corrientes de fondo que se generan en respuesta a la radiación gamma.

Como sucede en casi todos los perfeccionamientos prácticos, existen otros fenómenos que tienden a modificar la simple relación física que se expresa en la ecuación III. Por ejemplo, es casi seguro que se produzcan algunos electrones como resultado de las interacciones de los neutrones con los materiales del cable. Los electrones generados mediante las reacciones de los neutrones, sin embargo, están fuera de las condiciones de los fenómenos de la radiación gamma que se describen en la ecuación III. Así pues, según una característica adicional de la invención, los materiales del cable deben elegirse no sólo para cumplir la ecuación III sino también con



vistas a aquellos materiales que gozan de pocas probabilidades para las reacciones electrón-neutrón. Puesto que, después de alcanzar las condiciones de equilibrio en el cable, las reacciones neutrónicas es casi seguro que aporten algo a la emisión total de electrones a pesar de la más cuidadosa selección de materiales. Pon tanto, es conveniente utilizar un diámetro de hilo conductor que sea alrededor de unos 0.025 mm. mayor que el diámetro óptimo teórico previsto mediante la ecuación III. Si el cable debiera utilizarse a temperaturas mayores de las que caracterizan la potencia en los sistemas de los reactores por ejemplo 315°C los electrones emitidos termoiómicamente también suplementan la corriente de cable no deseada. Para compensar esta nueva fuente de error, debe añadirse otros 0.025 mm. a las unidades del diámetro del hilo conductor. Este ligero incremento en el diámetro del hilo conductor producirá una corriente de electrones inducida por radiación gamma directa que tenderá a compensar la corriente negativa de flujo opuesto de los electrones termoiómicamente emitidos desde la funda.

Además de la necesidad de apartarse de la relación ideal que se define en la ecuación III por razón de las características nucleares inherentes de los materiales potenciales del cable, existe otra necesidad de seleccionar los materiales para que sean metalúrgica y mecánicamente compatibles. Por ejemplo, las propiedades de los materiales del hilo conductor y de la funda pueden ser tan diferentes que entrañe serias dificultades poder recocer el cable estirado



o recalcado.

Al objeto de comprobar los principios de la invención, se construyeron varios cables en los cuales se utilizó una funda 10 formada de Inconel 600, (el Inconel 600 tiene una composición típica por peso, de 76.5 partes de níquel; 14.5 partes de cromo; 8.2 partes de hierro; 0.19 partes de cobre; 0.26 partes de silicio; 0.007 partes de azufre; 0.25 partes de manganeso; y 0.03 partes de carbono. De preferencia debiera reducirse la concentración de manganeso a 0.1 partes por peso o menos y el cobalto, aun cuando no figure en la composición ilustrativa anterior, debiera también evitarse para reducir al mínimo la fuente más importante de emisiones de electrones inducidos por neutrones no deseados. Naturalmente, pueden existir también indicios de otros elementos), con un diámetro exterior de 1 mm. junto con un hilo conductor 11 formado de Zirconio(Zircaloy-2) (el Zircaloy-2 comprende típicamente Zirconio con un resto de 1.5% de estaño; 0.12% de hierro; 0.11% de cromo; 0.06% de níquel y otros tantos 10 elementos más en indicios, de los cuales son ilustrativos el aluminio, el boro, el carbono, el cobre y el hafnio), y con diámetro en el margen de 0.216 mm. a 0.635 mm. Se introdujo un aislador compacto 12 de óxido de magnesio en el espacio anular entre el hilo conductor 11 y la funda circundante 10. Naturalmente, también deben evitarse lo más posible las reacciones neutrónicas en el material aislante. Así pues, frecuentemente se eligen los materiales en los cuales son típicos la alúmina (Al_2O_3) y el óxido de magnesio (MgO) para este fin porque entre



otras razones la probabilidad de absorción neutrónica ("sección macroscópica") es pequeña, respectivamente del orden de 0.011 cm^{-1} y 0.0034 cm^{-1} , al basarse en las densidades teóricas de estos materiales.

5 Cada uno de los cables, del cual la única figura del dibujo es ilustración, se probaron en el ambiente de neutrones y rayos gamma establecido dentro de un reactor tipo piscina de 1 megawatio a menos de 149°C . Se observaron durante un periodo de unos 15 minutos
10 las corrientes de fondo producidas en cada uno de los cables probados como resultado de esta exposición a los neutrones y rayos gamma. Se observó que el cable del hilo conductor de 0.28 mm. de diámetro expuesto a un flujo medio de neutrones de unos 1.6×10^{13} nv dentro
15 del ambiente del reactor generaba no más de 7×10^{-25} amperios/nv-2.54 cms. Esta corriente inducida es un factor de unos 20 menos que la corriente de fondo generada en un cable convencional que contenga un hilo conductor Inconel de 0.23 mm. de diámetro. Como se ha dicho antes,
20 se suceden a mayores temperaturas, nuevas fuentes de generación electrónica no deseadas de las cuales son típicas la emisión termoiónica y las reacciones inducidas por neutrones. Así pues para compensar todo ello y también la generación electrónica inducida por neutrones, deberán
25 añadirse otros 0.05 mm. al diámetro del hilo conductor. En este caso, resultó apropiado un diámetro de hilo conductor de 0.33 mm.

Claramente los principios de la invención son aplicables a otros materiales y formas de cable así como
30 a otras combinaciones de medidas del hilo conductor y de



la funda. Como se ha dicho antes, para un determinado conjunto de materiales del hilo conductor y de la funda hay un conjunto determinado de diámetros de hilo conductor y de funda que conducen a una cancelación máxima de la corriente de fondo. A este respecto, es ilustrativo insistir en uno de los ejemplos descritos en el preámbulo, en el cual un cable coaxial con una funda Inconel 600 de 1.346 mm. diámetro exterior y espesor de pared de 0.178 mm. con un hilo conductor de Zirconio de 0.19 mm. de diámetro está aislado de la funda con óxido de magnesio compacto. Este cable fué probado y demostró una sensibilidad electrónica de fondo inducida por radiación gamma similar al cable con el hilo conductor de 0.28 mm. descrito anteriormente. Como se ha dicho ya, para compensar los efectos de los neutrones en condiciones de equilibrio dentro del cable en relación con su ambiente, debe añadirse 0.025 mm. a este diámetro de hilo conductor. Igualmente si se ha previsto trabajar a mayores temperaturas, debe añadirse otros 0.025 mm. al diámetro para contrarrestar la influencia de los electrones termoiómicamente emitidos. En consecuencia, en estas circunstancias sería apropiado un hilo conductor de 0.241 mm. de diámetro.

Conviene observar también que es probable se produzcan efectos de corriente de fondo menores de segundo y tercer orden de diverso significado con distintos flujos de neutrones y actividades correspondientes de los rayos gamma. Sin embargo, la relación general que se describe en la ecuación III ofrece la relación básica y amplia entre los materiales y medidas de la funda y del hilo conductor sometidos a cierta optimización



identificable por medio de pruebas relativamente de menor importancia. Con respecto a las formas de conductor distintas a la configuración coaxial descritas anteriormente, el factor d en la ecuación III en lugar de relacionarse específicamente al diámetro, se refiere más bien a una característica de la medida del elemento del cable por ejemplo, ancho, longitud diagonal o similares. Además, el número atómico Z aun cuando sea único para cada elemento de la tabla periódica, en el caso de de las aleaciones descritas así como de las otras composiciones, representa un número ponderado que se basa en los números atómicos individuales y en las proporciones relativas de todos los componentes de la composición considerada.

La invención, dentro de su esencialidad, puede ser llevada a la práctica en otras formas de realización que difieran sólo en detalle de la indicada únicamente a título de ejemplo, a las cuales alcanzará igualmente la protección que se recaba. Podrá, pues, fabricarse estos perfeccionamientos con los medios y materiales más adecuados y con los accesorios más convenientes, por quedar todo ello comprendido en el espíritu de las siguientes reivindicaciones.

A todos los efectos pertinentes se hace constar con la presente solicitud de la patente de invención que se invoca la prioridad U.S.A. de 5 Abril de 1.974 Ser. No 458.152.



N O T A

Se reivindica como objeto de la presente patente de invención:

1.- Perfeccionamientos en los conductores
5 eléctricos, caracterizados por comprender una funda con un material que tiene una probabilidad pequeña de reacciones electrón-neutrón, un hilo conductor dentro de dicha funda, estando formado dicho hilo conductor de otro material que también tiene una probabilidad pequeña de reacciones
10 electrón-neutrón, dicho material del hilo conductor tiene también un número atómico que es mayor al número atómico del material de la funda al bojeto de satisfacer de modo general la ecuación

$$15 \quad 0 = Z \frac{n}{\ell} d_{\ell} - Z \frac{m}{s} d_s,$$

en la cual ℓ identifica dicho hilo conductor, s representa a dicha funda, d es una característica de medida, Z es el número atómico y n y m son exponentes que reflejan las emisividades electrónicas respectivamente de dicho
20 hilo conductor y de dicha funda con respecto a los fenómenos "Compton" y fotoeléctricos.

2.- Perfeccionamientos en los conductores según la reivindicación 1, caracterizado porque se interpone un aislador eléctrico con baja sección de absorción de
25 neutrones entre dicha funda y dicho hilo conductor.

3.- Perfeccionamientos en los conductores, según la reivindicación 2, caracterizado porque dicho material de la funda se compone de Inconel 600.

4.- Perfeccionamientos en los conductores, según
30 la reivindicación 3, caracterizado porque dicho hilo



conductor se compone de Zircaloy-2.

5 5.- Perfeccionamientos en los conductores,
según la reivindicación 4, caracterizado porque dicha
funda de Inconel 600 presenta un diámetro interior de
1 mm.

6.- Perfeccionamientos en los conductores,
según la reivindicación 4, caracterizado porque dicho
hilo conductor presenta un diámetro entre unos 0.28 mm.
y 0.33 mm.

10 7.- Perfeccionamientos en los conductores,
según la reivindicación 4, caracterizado porque dicha
funda Inconel 600 presenta un diámetro exterior de unos
1.346 mm y un espesor de pared de unos 0.178 mm., y dicho
hilo conductor tiene un diámetro entre unos 0.19 mm. y
0.24 mm.

15 8.- "PERFECCIONAMIENTOS EN LOS CONDUCTORES
ELECTRICOS".

Consta la presente memoria descriptiva de
dieciseis hojas mecanografiadas y de una lámina de
dibujos.

Madrid, a -8 FEB. 1975

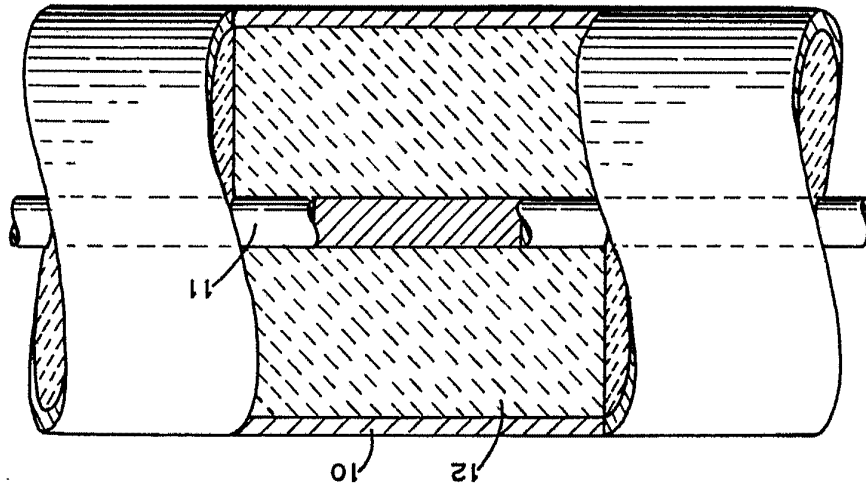
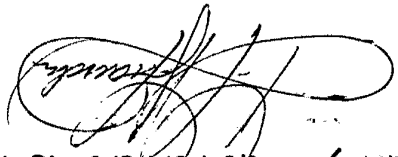
THE BABCOCK & WILCOX COMPANY

p.a.

MANUEL DE RAFAEL

P. P.

Madrid, 8 de Febrero de 1975



THE BABCOCK & WILCOX COMPANY Hoja única