

ms



260.607

260607

P A T E N T E D E I N V E N C I O N

a favor de.

WESTERN ELECTRIC COMPANY INCORPORATED - de nacionalidad
norteamericana - domiciliada en NEW YORK (E.U.) 195 Broadway

por:

"Dispositivo de guía de ondas por microondas".

-----: oOo :-----

M e m o r i a d e s c r i p t i v a

Este invento se refiere a los sistemas de transmisión electromagnéticos con guíasondas, y más concretamente a la disposición de elementos componentes giromagnéticos de banda ancha para uso en tales sistemas.

Se han utilizado elementos de material giromagné-

260607



tico en el interior de guiasondas metálicos huecos para producir numerosos efectos útiles e importantes sobre energía por ondas electromagnéticas propagada a través de ellos.

Una clase de componente desarrollado utiliza la rotación por el llamado "efecto Faraday", de la energía ondulatoria producida por un elemento longitudinal imanado de material giro magnético. Estos giradores de Faraday se han aplicado a frecuencias de microondas como componentes de aisladores, moduladores, atenuadores, circuladores, permutadores de fase, etc.

Aunque existe una gran demanda de muchos de los dispositivos citados, su aceptación comercial ha tropezado con el reparo de que la rotación obtenida con materiales giromagnéticos corrientes varía en función de la frecuencia operante. Por ello han resultado comercialmente inadecuados para uso en sistemas de comunicación que funcionan con bandas anchas de frecuencias.

Por consiguiente, el objeto general de este invento es compensar la subordinación de la frecuencia al material giromagnético en dispositivos de ondas electromagnéticas.

Un dispositivo típico conocido se caracteriza por un elemento alargado de material giromagnético, usualmente de ferrita, alojado en un guiasonda metálico redondo y sometido a un campo polarizante magnético de corriente continua.

El girador de Faraday, en particular, tiene su campo magnético aplicado paralelo al eje longitudinal de la ferrita. Se ha comprobado que el ángulo de rotación del plano de polarización de la energía electromagnética transmitida a través de tal dispositivo aumenta a medida que lo hace la frecuencia. La razón de esta subordinación de los giradores de Faraday a la frecuencia es bien conocida. En un material

18 AGO



260607

dieléctrico uniforme e infinito, la distribución de la energía de ondas electromagnéticas sería uniforme e independiente de la frecuencia; pero cuando un material dieléctrico está rodeado de otro medio de constante dieléctrica distinta, la energía ondulatoria excitante se distribuye entre el elemento muy dieléctrico y el medio de constante dieléctrica más bien baja que lo rodea. Al aumentar la frecuencia de la energía ondulatoria, se redistribuye la energía entre el elemento y el medio circundante, y aparece una mayor concentración de energía en el elemento muy dieléctrico, y una disminución concomitante de concentración de energía en el medio que lo rodea. Como el efecto de rotación que proporciona tal dispositivo depende de la concentración de energía ondulatoria en la ferrita, cualquier cambio de concentración origina otro cambio en la rotación resultante.

Se ha descubierto que, si bien la densidad total de energía en el material muy dieléctrico aumenta al elevarse la frecuencia, hay en el material zonas en que la densidad de energía se mantiene substancialmente constante al variar la frecuencia. Por tanto, si el material activo, o sea la ferrita, se limita primitivamente a las zonas en que la densidad de la energía se mantiene razonablemente constante, la rotación producida permanecería asimismo constante en proporción razonable.

Por consiguiente, un objeto específico de este invento es acoplar energía ondulatoria a una estructura dieléctrica en la que el material giromagnético se limita a la porción de estructura en la que la densidad de energía permanece substancialmente constante.

De conformidad con el invento, se produce rotación

260607



de Faraday de banda ancha, por medio de una estructura compleja formada por material dieléctrico rodeado de una envoltura de material giromagnético. Los dos materiales están en contacto por su extensión común, y se eligen de modo que posean constantes dieléctricas substancialmente iguales, para que ofrezcan una estructura dieléctrica homogénea a energía de ondas electromagnéticas propagada a través de ellos. Proporcionando las dimensiones relativas del material giromagnético y del núcleo dieléctrico, se reduce mucho el cambio de rotación por unidad de longitud frente a una variación dada de la frecuencia de régimen.

En una segunda forma de realización del invento, el material giromagnético comprende dos barras rectangulares longitudinales separadas por una pieza dieléctrica no giromagnética. Esta última disposición se emplea, en el ejemplo ilustrativo expuesto, conjuntamente con una película disipante distribuida, para producir atenuación en banda ancha.

Estos y otros objetos y ventajas del invento, su naturaleza y sus diversas características, se apreciarán mejor por los diversos ejemplos de realización que seguidamente se describen con detalle, referidos a los planos adjuntos, en los cuales indican:

La figura 1, una perspectiva de una forma de realización del invento que presenta una barra compuesta cilíndrica en un guíaondas circular;

La figura 2, la variación de intensidad del campo magnético de radiofrecuencia en una barra dieléctrica en función de la frecuencia;

La figura 3, una sección transversal del guíaondas y la barra compuesta de la figura 1; y



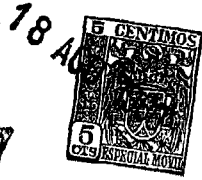
260607

La figura 4, una perspectiva de una segunda forma de realización del invento, con una barra compuesta rectangular empleada como guiaondas dieléctrico.

5 En términos más detallados, la figura 1 es un ejemplo de girador de polarización conforme al invento, el cual comprende un guiaondas redondo -10- del tipo de escudo metálico, proporcionado para conducir ondas electromagnéticas polarizadas linealmente, y de dimensiones apropiadas con preferencia para la propagación exclusiva de las diversas polarizaciones del modo dominante TE_{11} . Interpuesta a lo largo en la guia -10- según su eje está la pieza dieléctrica compuesta -11-, que comprende un elemento cilindrico magnéticamente polarizable de material giromagnético -12- y un nucleo interno de material dieléctrico no giromagnético -13-.

10 El término "material giromagnético" se emplea aquí en su acepción admitida para designar la clase de materiales polarizables magnéticos con sistemas de "spin" dispares, que comprenden porciones de sus átomos capaces de ser alineados por un campo magnético externo de polarización, y que muestran un movimiento de precesión apreciable a una frecuencia comprendida dentro del margen del invento bajo la influencia combinada de dicho campo de polarización y de un componente de campo magnético variable, en dirección ortogonal. Este movimiento precesional se caracteriza por un factor angular, otro giroscópico y otro magnético. Son materiales típicos de este orden gases ionizados, materiales paramagnéticos y material ferromagnético, el último de los cuales comprende espinelas como ferrita de aluminio y magnesio, ferrita de aluminio y cinc, y materiales semejantes al granate, como el de itrio y hierro.

260607



Asi como algunos materiales giromagnéticos, como la ferrita, tienen una constante dieléctrica substancialmente mayor que el aire, y por ello pueden calificarse con propiedad de "dieléctricos", el nucleo interno -13- debe distinguirse del cilindro giromagnético -12-, porque el primero no presenta en substancia propiedades giromagnéticas, mientras que el segundo las posee bien manifiestas. Tanto el nucleo interno -13- como los manguitos externos -12- se eligen de constantes dieléctricas substancialmente iguales, y de este modo se conducen como una barra dieléctrica homogénea -11- con relación a la energia de ondas electromagnéticas propagadas por su mediación. Cada extremo de la barra -11- puede adelgazarse mediante las secciones cónicas -14- y -15-, a fin de disminuir las reflexiones de la energia ondulatoria que inciden sobre la barra -11-, de un modo muy conocido en el ramo. Las secciones se hacen del mismo material que el nucleo -13-, y ofrecen una transición relativamente suave a la energia ondulatoria incidente.

El guia -10- está rodeado de un medio adecuado para producir en la barra -11- el campo magnético longitudinal necesario. Como ilustración, puede ser un único solenoide -15- excitado por un generador -20-; para variar el campo de polarización sirve de regulador el reóstato -19-. Sin embargo, puede suministrar este campo un solenoide de distinto diseño, una estructura de imán permanente, o, si se quiere, el cilindro giromagnético -12- puede estar permanentemente imanado.

En el funcionamiento corriente de un girador de Faraday, o sea, con la barra compuesta -11- reemplazada por una barra sólida de ferrita, una onda polarizada en el plano,



263607

de frecuencia f_0 , incidente sobre ferrita magnéticamente orientada, comprende dos grupos de ondas componentes en la ferrita, cada grupo circularmente polarizado, en sentido opuesto al otro. La ferrita orientada presenta permeabilidades respectivamente distintas a cada uno de los grupos de ondas componentes de polarización opuesta. En consecuencia, uno de los componentes tiene una velocidad de fase menor que la del otro, y los dos grupos de componentes se propagan a través del medio de ferrita a velocidades diferentes. Al emerger del medio, las ondas componentes se combinan para formar una onda resultante polarizada en el plano, generalmente a un ángulo distinto θ_0 del de la onda original, a causa de la diferencia de fase entre los componentes introducida durante la propagación a través de la ferrita. Una onda de frecuencia f_1 , mayor que f_0 , desviará su plano de polarización en un ángulo θ_1 mayor que θ_0 , en virtud de las peculiares propiedades de guíaondas de la ferrita. A la frecuencia, f_0 cierta porción de la energía de ondas de radiofrecuencia se propaga a través del elemento mismo de ferrita, y el resto lo hace por el espacio aéreo comprendido entre la ferrita y la pared del guíaondas. A la frecuencia mayor f_1 , se concentra en la ferrita una proporción de la energía de ondas de radiofrecuencia propagada a través de ella, mayor que en el caso de la frecuencia f_0 . Por tanto, la peculiar propiedad de permeabilidad anisotrópica de la ferrita aumenta, y también lo hace la diferencia entre las permeabilidades que ofrece respectivamente a los dos componentes de ondas polarizadas en círculo. Es decir, que al salir de la ferrita los dos componentes muestran entre ellos una diferencia de fase mayor a la frecuencia f_1 que a la frecuencia f_0 , con lo que se pro-

260607



duce un ángulo de rotación también mayor.

El efecto que sobre la distribución del campo magnético de alta frecuencia produce el aumento de la frecuencia de señales, se expone gráficamente en la figura 2, sección transversal del ejemplo de la figura 1. En ella aparece el elemento -11-, para los fines de esta exposición, como una barra dieléctrica homogénea montada a lo largo del eje del guía -10-. El espacio comprendido entre la barra -11- y la cara interna del guía -10- se llena de aire o de otro material poco disipante, con una constante dieléctrica bastante menor que la de la barra -11-.

Las abscisas de la gráfica de la figura 2 representan la intensidad del campo magnético de radiofrecuencia en el interior del guía -10-, y las ordenadas, la posición en el guía a lo largo del diámetro. Como indica la curva -21-, a una frecuencia f_0 , la intensidad del campo magnético no es uniforme, sino que varía a través del guía. Concretamente, el campo es algo débil en la pared del guíaondas, aumenta un poco entre la pared del guía y la barra -11-, y se hace rápidamente mayor en esta última, hasta alcanzar un máximo en su centro. La distribución de campo en la otra mitad del guía es la imagen simétrica de la descrita, y disminuye a la inversa desde el centro al valor bajo de la pared del guía.

Cuando aumenta la frecuencia de señales hasta f_1 , la intensidad del campo de radiofrecuencia adopta la forma de la curva -22-, y un aumento mayor de la frecuencia de señales hasta f_2 ocasiona una nueva concentración correspondiente del campo magnético en la barra dieléctrica -11-, como muestra la curva -23-.

De igual modo que es evidente una concentración



260607

substancial del campo en la porción central de la barra -11-, lo es que a lo largo de los bordes de la barra, en las regiones -24- y -25-, resulta relativamente pequeño el cambio conjunto en el campo entero. Si el campo se mantiene razonablemente constante, es natural que el efecto de la permeabilidad anisotrópica de cualquier material de ferrita en esas regiones permanezca constante en lo esencial.

En la exposición precedente, la barra dieléctrica se ha considerado como una entidad a los fines de examinar el efecto de aumentar la frecuencia sobre la distribución del campo. Pero si ahora se construye la barra limitando el material giromagnético a las regiones -24- y -25-, mientras que el resto de ella se compone de material dieléctrico no giromagnético, los cambios de intensidad del campo magnético, de radiofrecuencia en la porción central de la barra -11- correspondiente al material no giromagnético, al variar la frecuencia de regimen, no producirán variaciones respectivas en la rotación resultante del plano de polarización de la onda electromagnética incidente.

En la figura 3 se expone una sección transversal de la forma de realización de la figura 1, con la pieza -11- construida según las enseñanzas del invento. Concretamente aparece la barra de material no giromagnético, de radio r , rodeada del cilindro de material giromagnético, de radio externo R . La relación entre ambos radios, R/r , se prefiere de 2 o menos, aproximadamente. Pero como la anchura de banda aumenta a medida que disminuye la relación entre radios, la magnitud de rotación producida para un segmento dado de la barra se reduce en correspondencia. De este modo, los tres factores, anchura de banda, rotación y longitud de barra -11-



260607

se ajustan según la aplicación particular. Para una anchura de banda y una rotación angular del plano de polarización determinadas, se hallará la longitud del elemento -11-.

5 En la forma de realización del invento representada en la figura 1, el elemento giromagnético se situó del modo usual dentro de una vaina conductivamente delimitada. Pero en muchas aplicaciones interesa variar la potencia o la orientación del campo magnético que llega al elemento giromagnético, y a menudo conviene variar el campo rápida y/o continuamente. Sin embargo, cuando se cambia así el campo magnético, se desarrollan en la vaina metálica del guíaondas corrientes parásitas que tienden a impedir la entrada del campo magnético en el elemento giromagnético, con el consiguiente funcionamiento ineficaz. Además, la estructura magnética -16-
10 tiene que ser por fuerza más grande en esa variante que si pudiera aplicarse directamente la estructura polarizante de campo sobre el material giromagnético mismo. Se ha reconocido que es posible propagar energía ondulatoria por una barra dieléctrica sin vaina conductivamente delimitada, y aunque
15 parte de dicha energía se propaga por fuera del material dieléctrico, el campo de dentro de la barra dieléctrica se ajusta bien a los modos de propagación previstos en un guíaondas de tubo metálico. En consecuencia, son substancialmente los mismos los efectos usuales de los materiales giromagnéticos sobre la onda de propagación. En particular, la distribución de los campos magnéticos de radiofrecuencia dentro
20 del elemento dieléctrico -11-, según se ha descrito antes, quedará en substancia inalterada por la ausencia de la vaina metálica, con la ventaja además de que se elimina el problema de las corrientes parásitas y puede reducirse en proporción
25
30

260607

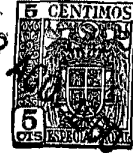


el tamaño de la estructura polarizante.

En una segunda forma de realización del invento, representada en la figura 4, se expone un atenuador de banda ancha que aprovecha el efecto de guíaondas dieléctrico antes mencionado y los principios de banda ancha del invento. Los detalles de esta variante difieren algo de los del caso de la figura 1 en cuanto a la disposición geométrica del material giromagnético y del material dieléctrico no giromagnético que comprende la estructura compuesta -40- de guíaondas dieléctrico. En particular, el material giromagnético tiene la forma de dos barras rectangulares alargadas -41- y -42-, separadas por las dos piezas dieléctricas -43- y -44- no giro magnéticas. Por ambos extremos, rebasadas las barras -41- y -42-, las piezas -43- y -44- se ensanchan hasta la altura total de la estructura compuesta -40-, para formar un elemento dieléctrico compuesto, que se adelgaza entonces para disminuir las reflexiones de la energía ondulatoria incidente. Los extremos decrecientes -45- y -46- entran y se acoplan en los guíaondas rectangulares -48- y -49-, respectivamente. Sosteniendo el guíaondas -40- entre los dos guíaondas, rectangulares -48- y -49- conductivamente delimitados, hay un par de soportes -50- y -51- poco dieléctricos y de escasa disipación.

Las barras giromagnéticas ilustradas están permanentemente imanadas en dirección paralela a la de propagación, como indican las flechas H_0 . Sin embargo, pueden emplearse otros medios adecuados para producir los campos magnéticos estables necesarios en las barras -41- y -42-.

A través del guíaondas dieléctrico -40- separando sus mitades superior e inferior, se extiende una película de material disipante -52-.



260607

En actividad, el sentido de polarización de la energía ondulatoria linealmente orientada, aplicada al guíaondas dieléctrico -40- desde cualquiera de los guias rectangulares, se hace girar al plano de la película disipante por influjo del material giromagnético polarizado a lo largo. Al principio, todos los componentes de la onda aplicada son perpendicularmente al plano del material disipante; pero al avanzar la onda por la barra, el sentido de polarización cambia y produce un componente paralelo al plano de ese material. Este efecto rotativo se origina continuamente en toda la extensión de las barras giromagnéticas, y se traduce en un acoplamiento continuo de energía de radiofrecuencia a la película disipante -52-. La energía así acoplada se disipa dentro de la citada película. Un atenuador construido así difiere fundamentalmente del atenuador de tipo rotativo de Faraday, en el que el material disipante se halla concentrado a intervalos discretos en cada extremo. En tales dispositivos, la característica de disipación tiene una variación típica de potencia de coseno al cuadrado, que requiere, para una disipación máxima, una coincidencia exacta del plano de polarización con el plano de material disipante. Las variaciones que tienden a aumentar o disminuir la rotación originan incrementos en la transmisión a través del atenuador. En particular es posible, por ejemplo, que la transmisión no se altere por la presencia de material disipante, cuando la rotación consista en una inversión de 180 grados en el sentido de polarización. Sin embargo, distribuyendo la película disipante por la longitud del material giromagnético de modo que se acople al mismo continuamente, la variación de potencia en función de la rotación angular viene dada por

263607



$$[\cos^2 \rho d] \xi^{-d/2} \left(1 - \frac{\sin 2\rho d}{2\rho d} \right)$$

en primera aproximación, donde \underline{d} es la longitud del girador, y ρ la rotación por unidad de longitud.

5 Se observará que, a medida que \underline{d} aumenta, el término exponencial se aproxima a $\xi^{-d/2}$. Idealmente, pues, la transmisión a través de un atenuador, conforme al invento, va desde la unidad cuando $\rho d = 0$, hasta 0 cuando $\rho d = 90^\circ$, y se mantiene por debajo de un nivel arbitrario, determinado por \underline{d} , al aumentar la rotación. El atenuador puede diseñarse entonces
10 para mantener una atenuación mínima dada dentro de una escala substancialmente mayor de variaciones de rotación anticipadas. Esta característica es valiosa en particular cuando el dispositivo se emplea en un ciclo de reacción cerrado de banda ancha, porque impide, en la mayoría de las aplicaciones, que
15 el dispositivo funcione en retroactivación positiva dentro del margen de frecuencias de régimen.

La cantidad de atenuación puede variarse, y modularse luego la señal, superponiendo un campo variable al
20 campo de polarización estable H_0 . En virtud de la construcción del atenuador representado en la figura 4, el sistema modulador (no dibujado) puede montarse directamente encima de la barra desnuda -40-, lo cual permite variaciones rápidas de la atenuación sin la interferencia nociva de corriente
25 parásitas, como antes se ha explicado.

Es de particular interés en los dispositivos antes descritos la amplitud del campo de polarización estable requerida para el funcionamiento de las diversas formas de realización del invento. El fenómeno de la rotación de Faraday del cual depende la actividad de estos giradores se produce
30



260607

en cualquier campo de imanación que no esté a cero. Así como el campo real requerido para cualquier magnitud de rotación depende de la longitud, el diámetro y las proporciones de ferrita y material dieléctrico empleadas en el girador, diseños típicos funcionan con campos de imanación de 100 gauss o menos.

Esto adquiere especial importancia al proyectar atenuadores o moduladores para las frecuencias cada vez mayores de los sistemas de microondas actuales. Las frecuencias más altas tienden a eliminar o hacer difícil el aprovechamiento de fenómenos tales como el de resonancia giromagnética cuando el campo de imanación es proporcional a la frecuencia de régimen.

Por ejemplo, de acuerdo con el invento, pueden construirse un aislador que funcione en una banda de 20% a 50 kilomegaciclos por segundo, con un campo de imanación no sintonizado no mayor de 50 gauss. Campos de imanación típicos para aisladores de desplazamiento de campo y de resonancia a esta frecuencia son de 14.000 y 18.000 gauss, respectivamente. Hasta ahora no se ha logrado aproximar estos aisladores a la anchura de banda de 20% sin recurrir a la sintonización del campo imanante.

En todos los casos, se entiende que las disposiciones aquí descritas son ejemplos de un pequeño número de las múltiples formas posibles de realización que pueden representar aplicaciones de los principios del invento. Los entendidos en la materia pueden idear fácilmente muchas y variadas disposiciones diferentes, de acuerdo con estos principios y sin apartarse del espíritu y alcance del invento.



N O T A 260607

Se reivindica como objeto de esta patente:

5 1. - Dispositivo de guía de ondas por microondas, caracterizado por comprender un elemento dielectrico compuesto, instalado a lo largo de la línea para hacer girar el plano de polarización de la energía ondulatoria, el cual comprende una sección externa de material giromagnético con una primera constante dieléctrica, y una sección interna de material no giromagnético con una segunda constante dieléctrica; estando ambos materiales giromagnéticos y no giromagnético en contacto por toda su extensión común. y medios magnéticos para polarizar a lo largo el citado elemento.

15 2. - Dispositivo de guía de ondas por microondas, según la reivindicación 1, caracterizado porque las constantes dieléctricas primera y segunda citadas son substancialmente iguales.

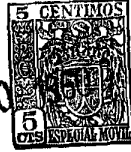
3. - Dispositivo de guía de ondas por microondas, según las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizado porque el elemento citado se dispone dentro de un guíaondas conductivamente delimitado.

20 4. - Dispositivo de guía de ondas por microondas, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque el elemento comprende un núcleo cilíndrico interno no giromagnético rodeado de una capa externa cilíndrica hueca de material giromagnético.

25 5. - Dispositivo de guía de ondas por microondas, según la reivindicación 4, caracterizado porque el núcleo interno tiene un radio r , y el cilindro hueco tiene un radio R , con una relación entre radios R/r menor de 2.

6. - Dispositivo de guía de ondas por microondas,

2606078 AGO



según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque la sección interna de material no giromagnético comprende un par de elementos separados por una capa de material electricamente disipante, y la sección externa de material giromagnético comprende un segundo par de elementos dispuestos en contacto con los del primer par.

7.- Dispositivo de guía de ondas por microondas.

Esta memoria consta de dieciseis páginas escritas por una sola cara.

BARCELONA, 18 agosto 1960

P. A.

5

10



FIG. 1

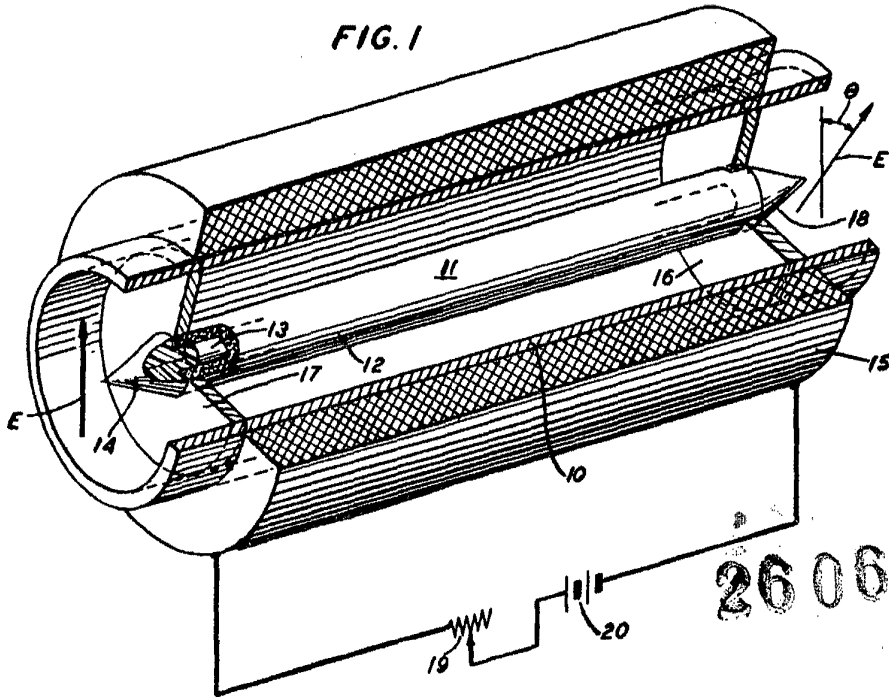
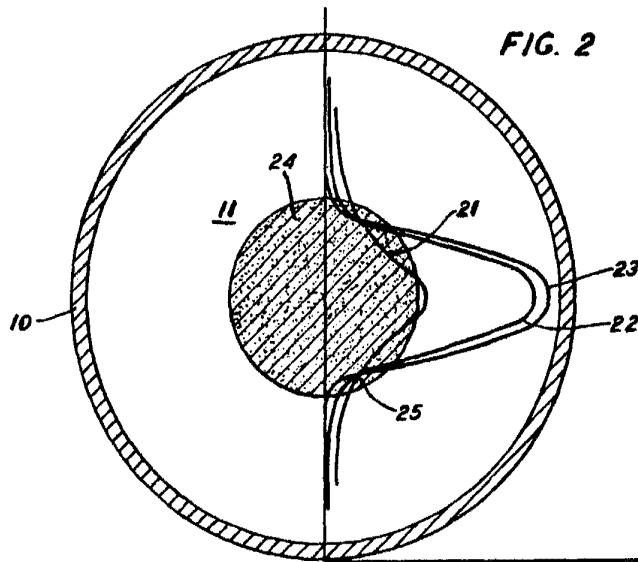
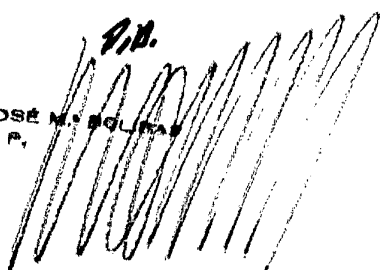


FIG. 2



JOSÉ M. BOLIVÁN
P. P.



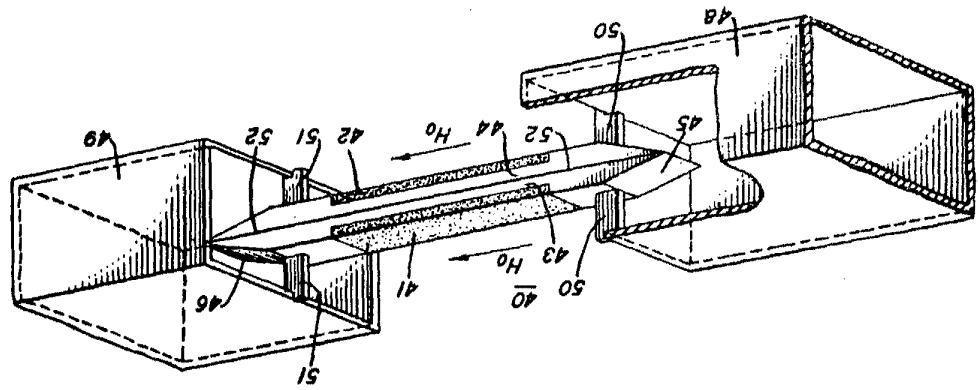


FIG. 4

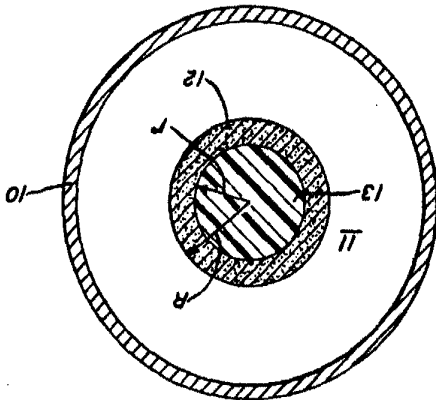


FIG. 3

260607



WESTERN ELECTRIC CO., INC. 2 HORAS HOJA 2 C. E. BARRIS 18 AGO