

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 672 936**

51 Int. Cl.:

H01P 1/39 (2006.01)

H01P 1/10 (2006.01)

H01P 1/11 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.08.2013 E 13179006 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.05.2018 EP 2698865**

54 Título: **Circulador de conmutación de ferrita con una banda de frecuencia operativa seleccionable electrónicamente**

30 Prioridad:

17.08.2012 US 201213588314

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

18.06.2018

73 Titular/es:

**HONEYWELL INTERNATIONAL INC. (100.0%)
101 Columbia Road, P.O. Box 2245
Morristown, NJ 07962-2245, US**

72 Inventor/es:

KROENING, ADAM M.

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 672 936 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

Circulador de conmutación de ferrita con una banda de frecuencia operativa seleccionable electrónicamente

ANTECEDENTES

5 Los circuladores de ferrita tienen una amplia variedad de usos en aplicaciones comerciales y militares, espaciales y terrestres, y de baja y alta potencia. Se puede implementar un circulador de guía de ondas en una variedad de aplicaciones, que incluyen, pero no se limitan a, conmutadores de redundancia de amplificador de bajo ruido (LNA), módulos de T/R, aisladores para fuentes de alta potencia y matrices de conmutación. Una aplicación importante para tales circuladores de guía de ondas es en el espacio, especialmente en satélites donde la fiabilidad extrema es esencial y donde el tamaño y el peso son muy importantes. Los circuladores de ferrita son deseables para estas 10 aplicaciones debido a su alta confiabilidad, ya que no se requieren partes móviles. Esta es una ventaja significativa sobre los dispositivos de conmutación mecánicos. En la mayoría de las aplicaciones para la conmutación de guía de ondas y circuladores sin conmutación, el tamaño pequeño, la baja masa y la baja pérdida de inserción son cualidades significativas.

15 Un tipo utilizado comúnmente de circulador de guía de ondas tiene tres brazos de guía de ondas dispuestos a 120° y que se encuentran en una unión común. Esta unión común está cargada con un material no recíproco como la ferrita. Cuando se crea un campo de magnetización en este elemento de ferrita, se crea un efecto giromagnético que puede utilizarse para conmutar la señal de microondas de un brazo de guía de ondas a otro. Al invertir la dirección del campo de magnetización, se invierte la dirección de conmutación entre los brazos de guía de ondas. Por lo tanto, un circulador de conmutación es funcionalmente equivalente a un circulador de polarización fija pero tiene una 20 dirección de circulación seleccionable. La energía de radiofrecuencia (RF) puede enrutarse con una pérdida de inserción baja desde un brazo de guía de ondas a cualquiera de los dos brazos de salida. Si uno de los brazos de la guía de ondas termina en una carga coincidente, entonces el circulador actúa como un aislador, con una gran pérdida en una dirección de propagación y baja pérdida en la otra dirección.

25 Un documento "Theory and Design of Ferrite Latching Waveguide Junction Circulators", Lin Lin, Microwave Journal, vol.30, no.12, 1 de diciembre de 1987, páginas 124-128, da a conocer circuladores de bloqueo de unión en Y de guía de ondas del plano H de ferrita con rutas internas de retorno magnéticas.

El documento SU 1 256 109 A1 da a conocer un conmutador de ferrita con bobinados de control.

El documento US 2009/108953 A1 da a conocer un circulador de guía de ondas de múltiples uniones que se superpone a dos secciones de transformadores dieléctricos de cuarto de onda.

30 RESUMEN

La presente invención en sus diversos aspectos es como se establece en las reivindicaciones adjuntas.

35 En una realización, se proporciona un elemento de ferrita para un circulador conmutable. El elemento de ferrita comprende, entre otros, un primer segmento que se extiende en una primera dirección desde una parte central del elemento de ferrita; un segundo segmento que se extiende en una segunda dirección desde la parte central del elemento de ferrita; y un tercer segmento que se extiende en una tercera dirección desde la parte central del elemento de ferrita. Cada uno del primer segmento, del segundo segmento y del tercer segmento incluye un primer canal ubicado a una primera distancia desde un punto central del elemento de ferrita. La primera distancia define una primera sección resonante del elemento de ferrita. Cada uno del primer segmento, del segundo segmento y del 40 tercer segmento también incluye un segundo canal ubicado a una segunda distancia del punto central. La segunda distancia define una segunda sección resonante del elemento de ferrita.

DIBUJOS

Entendiendo que los dibujos representan solo realizaciones a modo de ejemplo y, por lo tanto, no deben considerarse limitando en alcance, las realizaciones a modo de ejemplo se describirán con especificidad y detalles adicionales mediante el uso de los dibujos adjuntos, en los que:

45 La Figura 1 es una vista superior de una realización de un elemento de ferrita a modo de ejemplo utilizado en un circulador conmutable.

La Figura 2 es una vista superior de otra realización de un elemento de ferrita a modo de ejemplo utilizado en un circulador conmutable.

La Figura 3A es una vista superior de una realización de un circulador conmutable a modo de ejemplo.

La Figura 3B es una vista en perspectiva de una realización de un circulador conmutable a modo de ejemplo.

La Figura 4 es un diagrama de bloques de alto nivel de una realización de un sistema que tiene un circulador conmutable con una banda de frecuencia operativa seleccionable.

5 La Figura 5A es un gráfico que representa los datos de pérdida de inserción a modo de ejemplo para una realización a modo de ejemplo de un circulador conmutable multibanda.

La Figura 5B es un gráfico que representa datos de aislamiento a modo de ejemplo para una realización a modo de ejemplo de un circulador conmutable multibanda.

10 La Figura 5C es un gráfico que representa datos de pérdida de retorno a modo de ejemplo para una realización a modo de ejemplo de un circulador conmutable multibanda.

De acuerdo con la práctica común, las diversas características descritas no están dibujadas a escala sino que están dibujadas para enfatizar características específicas relevantes para las realizaciones a modo de ejemplo.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

15 En la siguiente descripción detallada, se hace referencia a los dibujos adjuntos que forman parte de la misma, y en los que se muestra a modo de ilustración realizaciones específicas ilustrativas.

La Figura 1 es una vista superior en sección transversal de una realización de un elemento de ferrita 101 a modo de ejemplo utilizado en un circulador conmutable. El elemento de ferrita 101 incluye 3 patas o segmentos 102-1, 102-2 y 102-3 que se extienden desde una parte central 107 en ángulos de aproximadamente 120° entre sí. Cada uno de los segmentos 102 tiene una longitud 114 y un ancho 116. La longitud 114 y el ancho 116 de cada una de las patas 20 102 son aproximadamente iguales a la longitud 114 y al ancho 116 de las otras patas 102. Además, cada uno de los segmentos 102 incluye un primer canal interno 106 situado a una distancia L1 desde un punto central 104 y un segundo canal externo 108 situado a una distancia L2 desde el punto central 104. Tal como se utiliza en el presente documento, los términos "canal", "abertura" y "orificio" pueden utilizarse indistintamente. Los canales 106 y 108 comienzan en un primer lado 118 de cada uno de los segmentos 102 y terminan en un segundo lado 120 de cada uno de los segmentos 102. El segundo lado 102 está opuesto al primer lado 118. Por lo tanto, los canales 106 y 108 se extienden a través del ancho 116 de cada uno de los segmentos 102 en una dirección que es aproximadamente perpendicular al primer lado 118 y al segundo lado 120.

Cada uno de los canales 106 y 108 puede crearse taladrando un orificio a través de cada una de las patas 102 del elemento de ferrita 101, por ejemplo. Si se inserta un bobinado de magnetización (también denominado en el presente documento como un hilo) a través de cada una de las aberturas 106 y 108, entonces puede establecerse un campo de magnetización en el elemento de ferrita 101 aplicando un impulso de corriente a uno de los bobinados de magnetización. Por ejemplo, en algunas realizaciones, la longitud del impulso es del orden de 100 nanosegundos de ancho y de 4-12 amperios en su pico a través del cable. El impulso bloquea el elemento de ferrita 101 en una cierta magnetización y luego se detiene. Por lo tanto, la corriente no tiene que aplicarse continuamente al cable 35 seleccionado.

En el ejemplo mostrado en la Figura 1, se inserta un cable 110 a través del canal 106 y se inserta un cable separado 112 a través del canal 108. El diámetro respectivo de los canales 106 y 108 se determina en base al diámetro del cable portador de corriente 110, 112 colocado a través de los respectivos canales 106 y 108. En particular, el diámetro respectivo de los canales 106 y 108 es mayor que el diámetro del cable portador de corriente 110 o 112 respectivo, de manera que el cable portador de corriente 110 o 112 puede insertarse a través de los canales 106 y 108 respectivos. La polaridad del campo de magnetización se puede conmutar, alternativamente, conmutando la polaridad de la corriente aplicada al cable 110 o 112 para proporcionar así un circulador conmutable.

La longitud L1 al primer canal 106 se mide desde el punto central 104 hasta aproximadamente un punto medio del canal 106. De forma similar, la longitud L2 al segundo canal 108 se mide desde el punto central 104 hasta aproximadamente un punto medio del canal 108. La longitud desde el punto central 104 al canal 106/108 respectivo influye en la frecuencia operativa del circulador conmutable en el que se implementa el elemento de ferrita 101. En particular, el volumen de la sección resonante del elemento de ferrita 101 determina la frecuencia de operación al primer orden. La sección resonante del elemento de ferrita 101 incluye la parte central 107 y la parte de cada una de las patas 102 entre la parte central 107 del elemento de ferrita 101 en forma de Y y la ubicación del cable 110 o 112 que porta un impulso de corriente. Las secciones del elemento de ferrita en el área fuera del volumen de la sección 50

resonante pueden actuar como rutas de retorno para los campos de polarización en la sección resonante y como transformadores de impedancia fuera de la sección resonante.

5 Por lo tanto, un circuito de control puede conmutar la frecuencia operativa del circulador conmutable al conmutar la aplicación de un impulso de corriente eléctrica entre los hilos 110 y 112. Es decir, cuando se aplica un impulso de corriente eléctrica al cable 110, el circulador conmutable operará en un primero rango de frecuencias basado en la longitud L1. Cuando se aplica un impulso de corriente eléctrica al cable 112, el circulador conmutable operará en un segundo rango de frecuencias basado en la longitud L2. Por lo tanto, al configurar las longitudes L1 y L2, se puede configurar un circulador conmutable para operar selectivamente en dos bandas de frecuencia diferentes.

10 Además, las longitudes L1 y L2 se pueden seleccionar basándose en el rendimiento del circulador conmutable en las bandas de frecuencia respectivas, sin tener en cuenta la operación del circulador conmutable sobre una banda de guarda entre las respectivas bandas de frecuencia. Por ejemplo, para que un circulador conmutable convencional opere sobre las bandas de frecuencia primera y segunda, el circulador convencional conmutable necesitaría configurarse para operar sobre un espectro de frecuencia continuo que incluye las bandas de frecuencia primera y segunda, así como una banda de guarda entre las frecuencias primera y segunda. Por lo tanto, esto aumenta la dificultad en el diseño del circulador conmutable y puede conducir a un rendimiento reducido sobre las bandas de frecuencia deseadas. Sin embargo, un circulador conmutable que implementa el elemento de ferrita 101 de la Figura 1 no necesita operar sobre la banda de guarda. Por lo tanto, cada una de las longitudes L1 y L2 se puede seleccionar teniendo en cuenta el rendimiento sobre la banda de frecuencia respectiva solamente.

20 Adicionalmente, debe entenderse que las realizaciones del elemento de ferrita no están limitadas a dos hilos y canales correspondientes. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 2, el elemento de ferrita 201 incluye tres canales 206, 208 y 218 situados a una distancia L1, L2 y L3, respectivamente, desde el punto central 204. El número de canales está limitado por la longitud 214 de las patas 202-1 ... 202-3 y el diámetro de los canales. En otras palabras, el espacio combinado requerido para los diámetros de la pluralidad de canales no puede exceder un porcentaje específico de la longitud 214 de cada una de las patas 202.

25 La Figura 3A es una vista superior de un circulador conmutable 300 a modo de ejemplo y la Figura 3B es una vista isométrica del circulador conmutable 300 a modo de ejemplo. El circulador conmutable 300 incluye una estructura de guía de ondas 303 que define una pluralidad de brazos de guía de ondas 332 que se encuentran en una unión compartida y generalmente están llenos de aire. Para los fines de esta descripción, los términos "lleno de aire", "vacío", "lleno de vacío" o "descargado" se pueden utilizar indistintamente para describir una estructura de guía de ondas. Los brazos 332 están dispuestos en ángulos de aproximadamente 120 grados entre sí en este ejemplo. La estructura de guía de ondas 303 conductiva también puede incluir puertos de entrada/salida de guía de ondas 326-1 ... 326-3. Los puertos 326 se pueden utilizar para proporcionar interfaces, tales como para la entrada y salida de señales, por ejemplo.

35 El circulador conmutable 300 también incluye un elemento de ferrita 301 dispuesto en la estructura de guía de ondas llena de aire 303, como se muestra en las Figuras 3A y 3B. Adicionalmente, un espaciador dieléctrico 320 está dispuesto sobre una superficie superior del elemento de ferrita 301 y un espaciador dieléctrico 328 está dispuesto sobre una superficie inferior del elemento de ferrita 301. Los materiales seleccionados para los espaciadores 320 y 328 respectivos pueden elegirse independientemente en términos de propiedades de microondas y térmicas para permitir mayor flexibilidad en la adaptación de impedancia del circulador 300. El diámetro de los espaciadores 320 y 328 se selecciona para fines de adaptación de impedancia. Aunque los espaciadores 320 y 328 se muestran en las Figuras 3A y 3B como que tienen una forma circular, se puede utilizar cualquier geometría para los espaciadores 320 y 328. Además, en algunas realizaciones, se pueden incluir uno o más elementos de adaptación empíricos 330 opcionalmente en una parte conductora de la estructura de guía de ondas 303. La estructura de guía de ondas 303 puede estar compuesta por cualquier material conductor, tal como, pero no limitado a, aluminio, metal chapado de plata o metal chapado de oro. Los elementos coincidentes 330 pueden ser botones dieléctricos o metálicos capacitivos/inductivos que se utilizan para mejorar empíricamente la adaptación de impedancia sobre la banda de frecuencia operativa deseada.

40 Además, en el ejemplo de la Figura 3, el circulador conmutable 300 incluye un transformador dieléctrico de cuarto de onda en dos pasos 322, acoplado a un extremo de cada una de las patas 302 del elemento de ferrita 301 para propósitos de adaptación de impedancia del elemento de ferrita a la interfaz de guía de ondas. Los transformadores dieléctricos 322 se utilizan típicamente para adaptar la menor impedancia del elemento de ferrita con la mayor impedancia de la guía de ondas llena de aire para reducir la pérdida. En particular, en esta realización, los transformadores dieléctricos 322 incluyen un paso 324 en el ancho del transformador 322 para proporcionar dos pasos de adaptación de impedancia. Sin embargo, debe entenderse que las dimensiones de los transformadores 322 varían en función de la adaptación de impedancia deseada para la implementación específica. Por ejemplo, el ancho, alto, número de pasos y ubicación de los pasos en los transformadores 322 puede variar para así lograr la

adaptación de impedancia deseada del elemento de ferrita 301 al correspondiente puerto de guía de ondas 326. Adicionalmente, en otras realizaciones, los pasos en la altura o el ancho de los brazos de guía de ondas 332 se pueden utilizar además de o en lugar de varianzas en las dimensiones de los transformadores 322 para lograr la adaptación de impedancia deseada.

5 El elemento de ferrita 301 también incluye una pluralidad de canales. En particular, en este ejemplo, el elemento de ferrita 301 incluye dos canales 306 y 308 a través de cada una de las patas 302. Los bobinados de magnetización 310 y 312 se insertan cada uno a través de uno de los canales 306 y 308 correspondiente para definir cada uno una sección resonante diferente, como se describe arriba. El cable interno 310 proporciona un rendimiento de frecuencia mayor y el cable externo 312 proporciona un rendimiento de frecuencia inferior debido a que la frecuencia operativa
10 está inversamente relacionada con el volumen de la sección resonante. Por lo tanto, el circulador conmutable 300 está implementado como un circulador conmutable no recíproco multibanda que contiene tres puertos 326. Es decir, conmutando el bobinado de magnetización a través del cual se aplica un impulso de corriente, se conmuta la frecuencia operativa del circulador conmutable 301. Por lo tanto, tal como se utiliza en el presente documento, un circulador conmutable multibanda es un circulador con una banda de frecuencia operativa seleccionable
15 electrónicamente.

Adicionalmente, al conmutar la polaridad del impulso de corriente, puede conmutarse la dirección del flujo de señal. Por ejemplo, para una primera polaridad del impulso de corriente, una primera configuración de flujo de señal en el circulador de tres puertos conmutable 300 es 326-1 → 326-2, 326-2 → 326-3 y 326-3 → 326-1. Es decir, una señal
20 introducida a través del puerto 326-1 se emite a través del puerto 326-2; una de señal introducida a través del puerto 326-2 se emite a través del puerto 326-3; y una señal introducida a través de 326-3 se emite a través del puerto 326-1. Para una segunda polaridad del impulso de corriente, una segunda configuración de flujo de señal en el circulador conmutable 300 es 326-1 → 326-3, 326-3 → 326-2 y 326-2 → 326-1.

En una configuración ideal, ninguna porción de las señales de entrada debería resultar en el puerto aislado. El puerto aislado es el puerto sobre el cual la señal no debe ser emitida. Por ejemplo, si se introduce una señal en el
25 puerto 326-1, el puerto de salida en la primera configuración de flujo de señal descrita anteriormente es el puerto 326-2 y el puerto aislado es el 326-3. Por lo tanto, idealmente, ninguna señal debería resultar en el puerto 326-3 en tal configuración. Cualquier pérdida de señal desde el puerto de entrada al puerto de salida se refiere como la pérdida de inserción. La pérdida en la señal del puerto de entrada al puerto aislado se refiere como aislamiento.

Típicamente es deseable configurar el circulador 300 para disminuir la pérdida de inserción y aumentar el
30 aislamiento. Por ejemplo, en una realización, el circulador está configurado para tener unas pocas décimas de dB de pérdida de inserción y aproximadamente 20 dB de aislamiento. Las Figuras 5A-5C son gráficos que representan datos de pérdida de inserción, aislamiento y pérdida de retorno a modo de ejemplo para una realización a modo de ejemplo del circulador conmutable multibanda que tiene dos bobinados de magnetización para conmutar la frecuencia de operación. Como se puede ver en las Figuras 5A-5C, la banda de frecuencia sobre la que el circulador
35 realiza con la pérdida de inserción, el aislamiento y la pérdida de retorno deseadas, es diferente dependiendo del cable al que se aplica el impulso de corriente. En particular, como se ha discutido anteriormente, el cable interno, tal como el cable 310 en la Figura 3, que define una sección resonante más pequeña generalmente proporciona un mejor rendimiento a frecuencias operativas relativamente mayores que el cable externo, tal como el cable 312 en la Figura 3, que define una mayor sección resonante. De manera similar, el cable externo generalmente proporciona un
40 mejor rendimiento a frecuencias operativas relativamente más bajas que el cable interno. Por lo tanto, con un solo circulador conmutable, se pueden soportar dos bandas de frecuencia separadas mientras se alcanza el rendimiento deseado para ambas bandas de frecuencia.

La Figura 4 es un diagrama de bloques de alto nivel de una realización de un sistema 405 que implementa un
45 circulador conmutable multibanda 400. El sistema 405 puede implementarse como cualquier sistema de radiofrecuencia (RF) tal como, pero no limitado a, sistemas de radar, sistemas de comunicación por satélite y redes de comunicaciones terrestres. El circulador conmutable multibanda 400 incluye un elemento de ferrita que tiene al menos dos hilos insertados a través de aberturas correspondientes en cada una de las patas de un elemento de ferrita como se ha descrito anteriormente. Cada uno de los al menos dos cables está asociado con una banda de frecuencia operativa respectiva en función de la ubicación de la abertura correspondiente, como se ha descrito
50 anteriormente. Las bandas de frecuencia de funcionamiento respectivas no tienen que ser bandas de frecuencia adyacentes. Es decir, una frecuencia en un borde superior de la banda de frecuencia más baja no tiene que ser la misma o cercana de una frecuencia en un borde inferior de la banda de frecuencia más alta. El sistema 405 también incluye un circuito controlador 402 que está configurado para proporcionar un impulso de corriente a uno de los al menos dos cables para seleccionar una banda de frecuencia operativa del circulador conmutable 400.
55 Adicionalmente, el circuito controlador 402 puede estar configurado opcionalmente para conmutar la dirección del flujo de señal como se describe arriba.

5 Acoplado a cada uno de los puertos 426 hay un componente de RF 434. Cada uno de los componentes de RF 434 puede implementarse como uno de un transmisor, un receptor, una antena u otra carga conocida por los expertos en la materia. Por ejemplo, en una realización, el componente de RF 434-1 está implementado como una antena, el componente de RF 434-2 está implementado como un receptor y el componente de RF 434-3 está implementado como un transmisor. El circulator conmutable multibanda 400 está configurado, en tal realización, de modo que las señales desde el transmisor 434-3 están aisladas del receptor 434-2, pero se pasan a través de la antena 434-1 para la transmisión. De forma similar, las señales recibidas a través de la antena 434-1 están aisladas del transmisor 434-3 y pasan a través del receptor 434-2 en tal realización de ejemplo. El circuito controlador 402 está configurado para conmutar la banda de frecuencia operativa conmutando el cable al que se aplica el impulso de corriente. Por ejemplo, la banda de frecuencia operativa puede conmutarse a una primera banda de frecuencia para la transmisión de señales y a una segunda banda de frecuencia para la recepción de señales. Sin embargo, debe entenderse que, en otras realizaciones, los componentes de RF 434 están implementados de forma diferente que en esta realización a modo de ejemplo.

10 Por lo tanto, mediante el uso del circulator conmutable multibanda 400, el sistema 405 es capaz de soportar múltiples bandas de frecuencia con un solo circulator conmutable. Adicionalmente, las múltiples bandas de frecuencia no necesitan ser bandas adyacentes. Por ejemplo, las bandas de frecuencia pueden estar separadas por una banda de guarda para evitar la interferencia entre las bandas. Como se ha descrito anteriormente, mediante el uso de múltiples cables a través de las patas del circulator conmutable multibanda 400, el circulator 400 puede estar configurado para operar a un nivel de rendimiento deseado para cada una de las bandas de frecuencia sin tener en cuenta el rendimiento del circulator 400 durante la banda de guarda.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de circulador conmutable (300) que comprende:
 - una guía de ondas (303) que tiene tres puertos (326-1, 326-2, 326-3);
 - un elemento de ferrita (101, 201, 301) que tiene tres segmentos (102-1, 102-2, 102-3) que se extienden
 - 5 cada uno desde una parte central (107), teniendo el elemento de ferrita una primera sección resonante definida por un primer canal (106) en cada uno de los tres segmentos y una segunda sección resonante definida por un segundo canal (108) en cada uno de los tres segmentos;
 - un primer bobinado de magnetización (110) dispuesto en el primer canal en cada uno de los tres
 - 10 segmentos; y
 - un segundo bobinado de magnetización (112) dispuesto en el segundo canal en cada uno de los tres segmentos;
 - un circuito controlador configurado para aplicar un impulso de corriente a uno del primer bobinado de magnetización y del segundo bobinado de magnetización, en donde el circuito controlador conmuta una banda de frecuencia operativa del circulador conmutable conmutando el bobinado de magnetización al que se aplica el
 - 15 impulso de corriente;
 - en donde, cuando el impulso de corriente se aplica al primer bobinado de magnetización, el rendimiento del circulador conmutable en una primera banda de frecuencia cumple los niveles de rendimiento deseados mejor que cuando se aplica un impulso de corriente al segundo bobinado de magnetización;
 - en donde, cuando el impulso de corriente se aplica al segundo bobinado de magnetización, el rendimiento
 - 20 del circulador conmutable en una segunda banda de frecuencia cumple los niveles de rendimiento deseados mejor que cuando se aplica un impulso de corriente al primer bobinado de magnetización; y
 - en donde la primera banda de frecuencia y la segunda banda de frecuencia no son bandas de frecuencia adyacentes, en donde la primera banda de frecuencia y la segunda banda de frecuencia están separadas por una banda de guarda.
- 25 2. El sistema circulador conmutable de la reivindicación 1, que comprende además un espaciador dieléctrico (320, 328) dispuesto en al menos una de una superficie superior del elemento de ferrita o de una superficie inferior del elemento de ferrita.
3. El sistema circulador conmutable de la reivindicación 1, que comprende además un transformador dieléctrico (322) respectivo acoplado a un extremo de cada uno de los tres segmentos del elemento de ferrita.
- 30 4. El sistema circulador conmutable de la reivindicación 1, en donde la estructura de guía de ondas define tres brazos (332-1, 332-2, 332-3) que están dispuestos en ángulos de aproximadamente 120 grados entre sí y se encuentran en una unión común, cada uno de los brazos correspondiente a uno de los tres puertos.
5. El sistema de circulador conmutable de la reivindicación 1, que comprende además un tercer bobinado de magnetización dispuesto en un tercer canal (218) en cada uno de los tres segmentos del elemento de ferrita,
- 35 definiendo el tercer canal una tercera sección resonante del elemento de ferrita,
- en donde, cuando se aplica un impulso de corriente al tercer bobinado de magnetización, el circulador conmutable opera en una tercera banda de frecuencia determinada por la tercera sección resonante.
6. El sistema circulador conmutable de la reivindicación 1, en donde los tres segmentos del elemento de ferrita están dispuestos en ángulos de aproximadamente 120 grados entre sí.
- 40 7. El sistema circulador conmutable de la reivindicación 1, que comprende además uno o más botones dieléctricos o metálicos (330) dispuestos en una parte conductora de la guía de ondas.

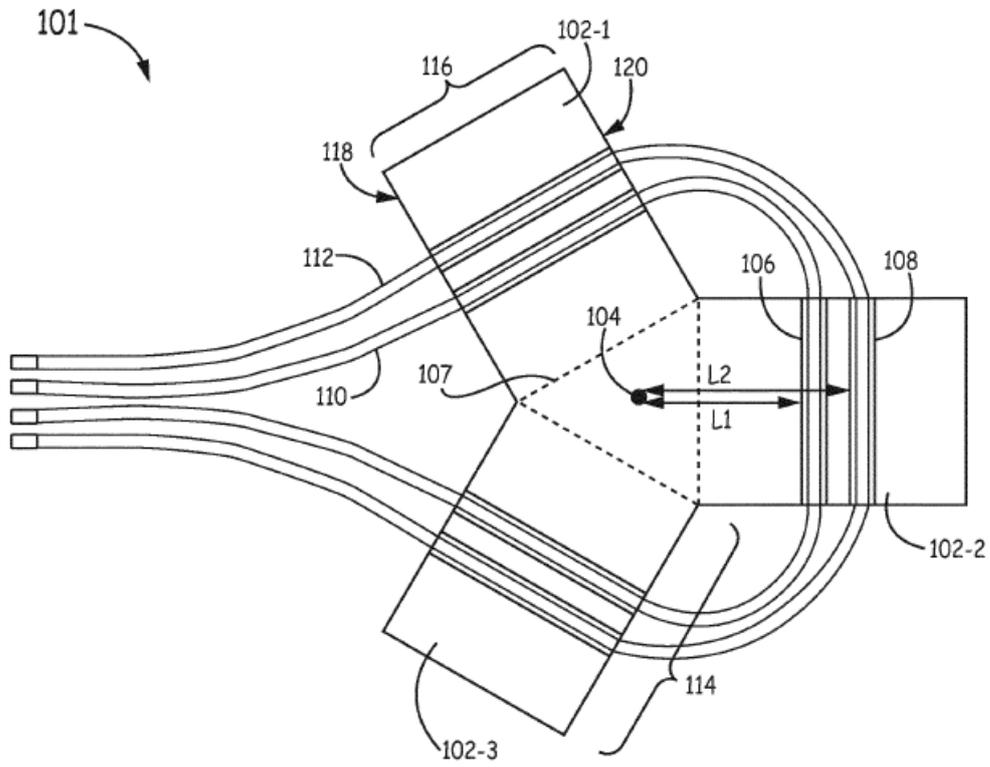


FIG. 1

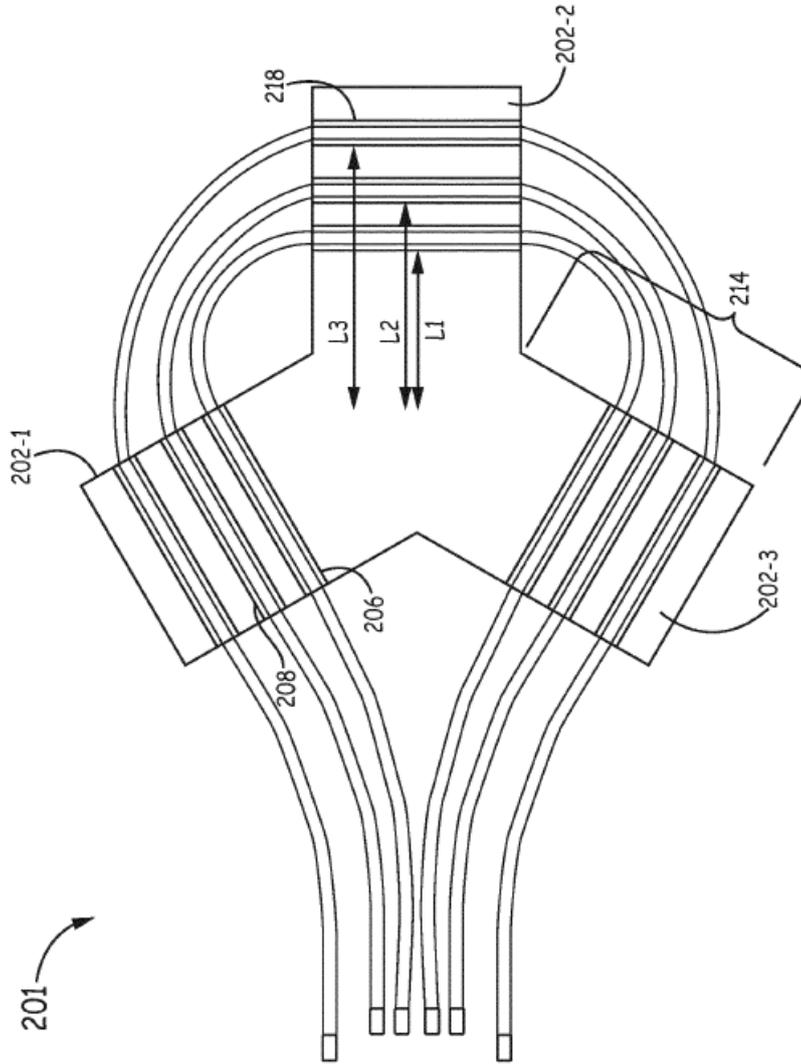


FIG. 2

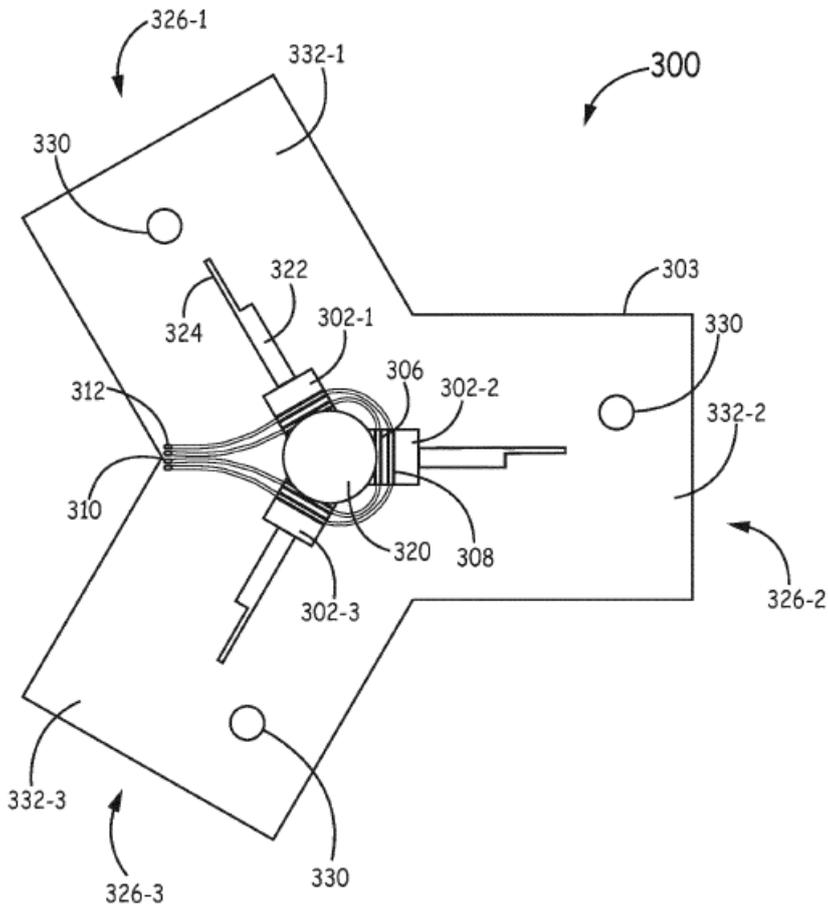


FIG. 3A

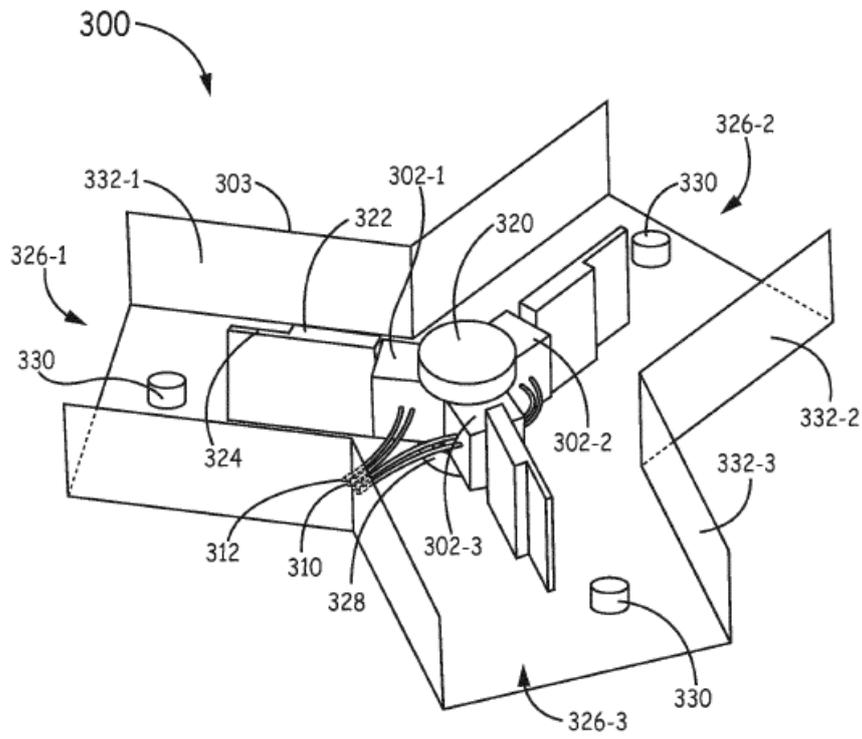


FIG. 3B

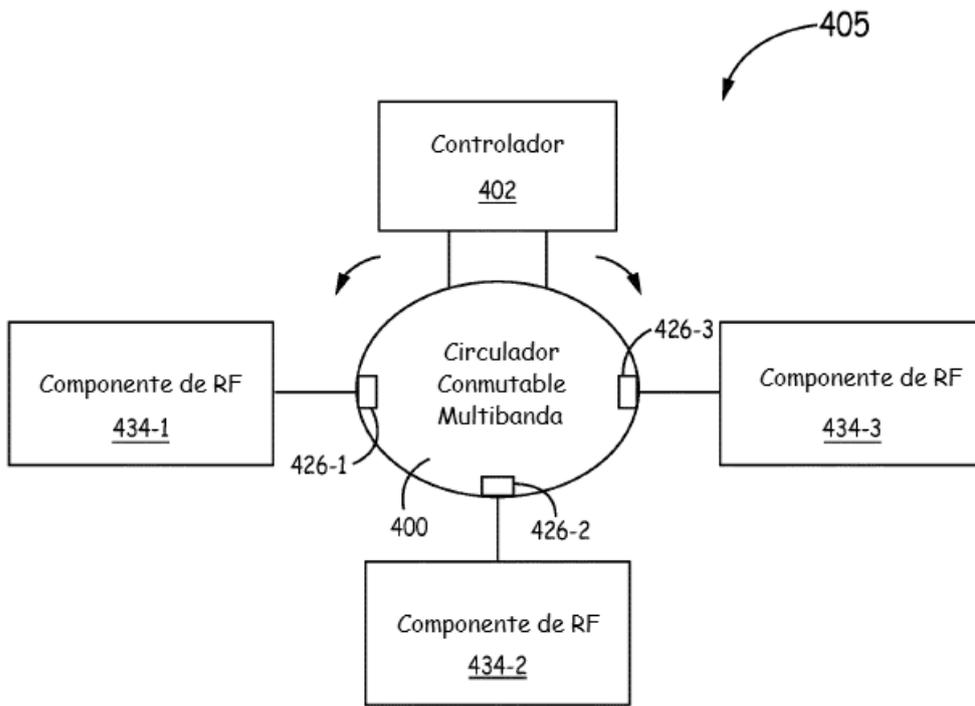


FIG. 4

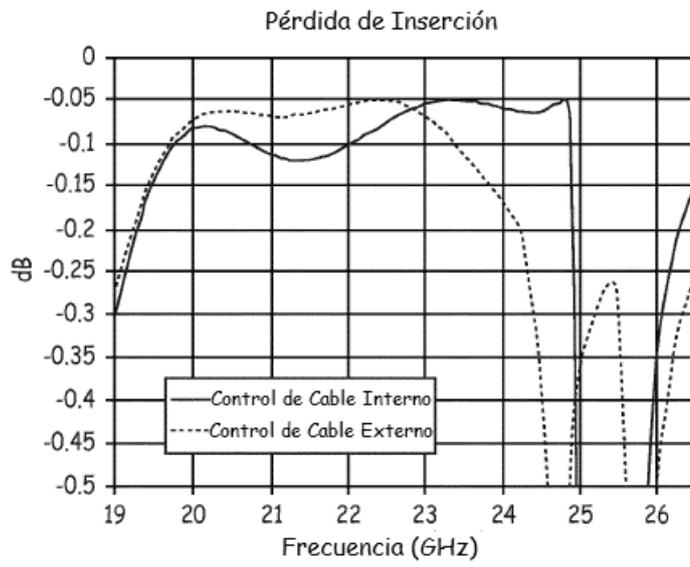


FIG. 5A

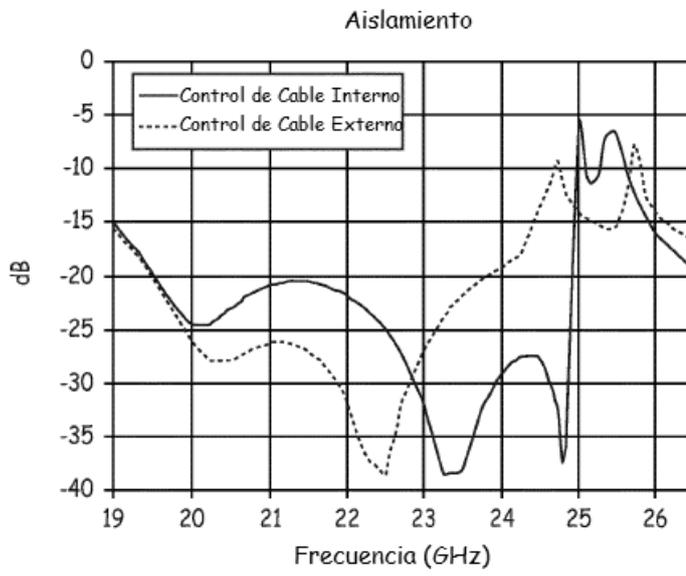


FIG. 5B

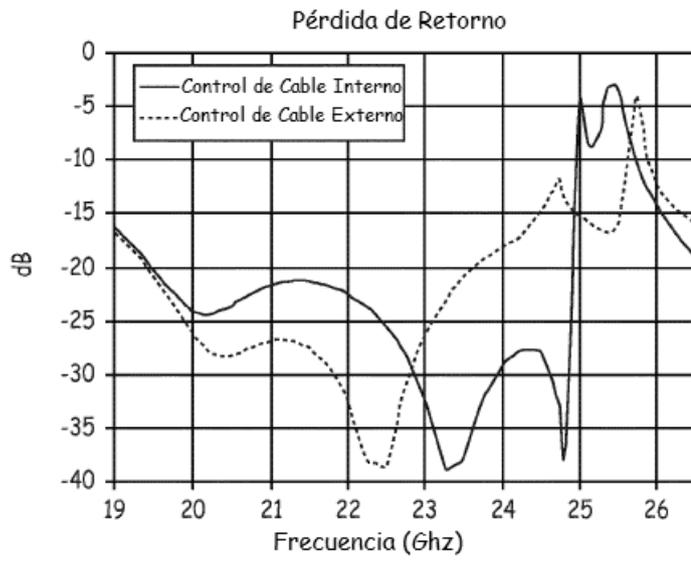


FIG. 5C