(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 713 707**

(51) Int. Cl.:

***H01P 1/205*** (2006.01)
***H01P 1/208*** (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.02.2017** **E 17154615 (3)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.12.2018** **EP 3203575**

(54) Título: **Filtro para mediciones de intermodulación pasiva**

(30) Prioridad:

**05.02.2016 EP 16154517**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
**23.05.2019**

(73) Titular/es:

**SPINNER GMBH (100.0%)**
**Erzgiessereistrasse 33**
**80335 München, DE**

(72) Inventor/es:

**GRASSL, MARTIN y**
**KAISER, GÜNTHER**

(74) Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 713 707 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

Filtro para mediciones de intermodulación pasiva

**Campo de la invención**

La invención versa acerca de estructuras de filtro para mediciones de PIM (intermodulación pasiva) de señales de RF.

**Descripción de la técnica relacionada**

Normalmente se hace referencia a la intermodulación de las señales de RF como un problema en dispositivos no lineales como amplificadores o mezcladores en los que la combinación de varias frecuencias crea diversos productos de intermodulación incluso a bajos niveles de potencia. En caso de dos señales sinusoidales de distintas frecuencias y los productos de intermodulación tendrán las siguientes frecuencias:

$$f_{IM} = \left| k_1 f_1 \pm k_2 f_2 \right|$$

$k_1$ y $k_2$ son números naturales y $k_1 + k_2$ es el orden del producto de intermodulación.

En realidad, sin embargo, los productos de intermodulación pueden producirse incluso en componentes pasivos que son denominados, normalmente, lineales, tales como cables o filtros. Entonces, se denomina “intermodulación pasiva” o “PIM”. Las causas pueden ser el uso de materiales magnéticos o contactos galvánicos deficientes de RF. Dado que estas son fuentes bastante débiles, la PIM solo se vuelve evidente, normalmente, a niveles de potencia mucho mayores en comparación con los productos de intermodulación en dispositivos semiconductores.

Mediante ese efecto se pueden provocar problemas inmensos en un sistema de comunicaciones móviles. Cuando se transmiten, por ejemplo, dos portadoras en el extremo de banda de la banda de TX de LTE 800, un producto de intermodulación estará en la banda de RX que actúa como una distorsión adicional que degrada la relación señal-ruido. Dado que esta distorsión no puede ser filtrada por ningún medio, es crucial que todos los componentes del sistema creen lo menos que sea posible. Esta es la razón por la que la verificación de componentes de infraestructura de comunicaciones móviles en relación con la PIM desempeña un papel importante en el procedimiento de fabricación.

Los procedimientos para mediciones de PIM son normalizados y se describen, por ejemplo, en IEC 62037-1. Las señales en una primera frecuencia o intervalo de frecuencias se aplican a un DUT (dispositivo bajo ensayo) y las señales de intermodulación generadas por el DUT son medidas en una segunda frecuencia o intervalo de frecuencias. Las contribuciones a la incertidumbre de la medición de tal sistema son la precisión limitada de la potencia de las dos señales portadoras y la autointermodulación del banco de ensayos de PIM y de la carga optimizada para la PIM. Es necesaria una diferencia de al menos 10 dB entre la intermodulación del banco de ensayos y la intermodulación del dispositivo bajo ensayo para que haya un error aceptable en la medición de menos de 3 dB. Dado que se especifican muchos componentes de infraestructura de comunicaciones móviles con -165 dBc, sería necesario contar con dispositivos de ensayo con una autointermodulación mejor que -175 dBc. Por desgracia, tales dispositivos de ensayo no están disponibles comercialmente en la actualidad.

En el documento US 9.306.261 B2 se divulga un procedimiento para mitigar la PIM. Este procedimiento está limitado a la PIM causada por metales conductivos ferromagnéticos.

El componente más crítico en un dispositivo de medición de PIM es el duplexor que divide la PIM reflejada por un DUT (dispositivo bajo ensayo) a un puerto separado de salida en el que puede medirse el nivel de potencia. Siempre que la selectividad del filtro sea suficiente para evitar cualquier efecto secundario como la creación de la PIM en el receptor o la transmisión de la PIM creada en los amplificadores hasta el puerto de ensayo, la PIM residual del dispositivo de medición estará causada principalmente por la propia intermodulación pasiva del duplexor.

En el documento US 4.307.357 se divulga un filtro peine que puede ser utilizado para un duplexor. En realidad, la autointermodulación de tal filtro es mayor que la PIM de componentes modernos de comunicaciones.

El documento US 8.742.869 B2 da a conocer diplexores mejorados con condensadores de PIM baja. Esto ayuda a mejorar la autointermodulación a -156 dBc, que sigue estando aproximadamente a 20 dB del valor requerido.

El documento US 8.362.855 B2 divulga un filtro con una PIM reducida. Utiliza una técnica especial de fijación con pernos para mejorar el contacto galvánico entre una cubierta de alojamiento y un cuerpo de alojamiento. El documento WO 93/01625 divulga un diplexor peine con una PIM reducida, en el que las paredes de separación entre los resonadores están terminadas sin llegar a la tapa del filtro.

El documento DE 10 2014 011 514 A1 divulga un alojamiento con una PIM reducida, para una antena de una estación base de una chapa metálica delgada. Para evitar problemas con tuercas de presión colocadas de forma imprecisa, se proporciona un acoplamiento capacitivo.

**Sumario de la invención**

El problema que ha de ser solucionado mediante la invención es proporcionar un banco de ensayos de PIM mejorado y proporcionar un duplexor mejorado. Un aspecto adicional versa acerca de filtros mejorados de PIM baja. Preferentemente, el banco de ensayos de PIM y el duplexor tienen una autointermodulación mejor que -175 dBc.

Las soluciones del problema se describen en la reivindicación independiente. Las reivindicaciones dependientes versan acerca de mejoras adicionales de la invención.

Una serie de ensayos y de mediciones que lleva mucho tiempo ha demostrado que la PIM de estructuras de filtro y específicamente de duplexores sigue estando limitada por el contacto galvánico entre un cuerpo de alojamiento y una cubierta que encierra los duplexores.

La parte superior del cuerpo de alojamiento del filtro nunca es perfectamente plana. Por lo tanto, es muy difícil proporcionar suficiente presión de contacto en toda el área de contacto entre el cuerpo de alojamiento y la cubierta. En un estado montado, pueden producirse ligeros movimientos debidos a la liberación de tensiones en el interior del material del cuerpo de alojamiento del filtro. Esto puede tener como resultado un cambio de la calidad de contacto con el paso del tiempo. Adicionalmente, se necesitan elementos de sintonización para sintonizar la estructura de filtro a la respuesta deseada de frecuencia. Normalmente, estos elementos tienen contactos galvánicos con el cuerpo de alojamiento del filtro o también con la cubierta y el movimiento durante la sintonización puede provocar que las partículas metálicas penetren en el interior del filtro. Cualquier contacto galvánico también puede cambiar sus propiedades debido a reacciones químicas con la atmósfera, tales como la oxidación. Las vibraciones y los impactos durante el transporte también podrían degradar los contactos galvánicos en el interior de la estructura del filtro. Estos mecanismos pueden hacer que surjan problemas de estabilidad a largo plazo. Pero incluso si la estructura del filtro es estable, la PIM residual que puede conseguirse con un diseño convencional se encuentra típicamente únicamente en el orden de -170 dBc con una potencia de la portadora de +43 dBm en todo el ancho de banda del filtro que, en realidad, no es suficiente para someter a ensayo a componentes de más de -165 dBc.

Por lo tanto, en una realización preferente, a diferencia de la enseñanza de la técnica anterior, se debe evitar cualquier contacto galvánico entre el cuerpo de alojamiento y la cubierta. Además, debe haber un acoplamiento capacitivo fuerte entre los mismos para proporcionar una impedancia baja entre el cuerpo de alojamiento y la cubierta.

Preferentemente, el duplexor tiene un cuerpo monolítico de alojamiento fabricado, siendo lo más preferible que sea mediante fresado de aluminio o cualquier otro material adecuado. Puede haber varillas resonantes coaxiales que pueden ser parte del cuerpo de alojamiento. Preferentemente, una cubierta de aluminio está acoplada de forma capacitiva al cuerpo de alojamiento del filtro sin ningún contacto galvánico. Esto puede lograrse proporcionando una capa dieléctrica, que puede ser un revestimiento de la cubierta y/o del cuerpo. Preferentemente, la cubierta tiene una capa dieléctrica, al menos en superficies orientadas hacia el cuerpo de alojamiento o en toda su superficie. Se prefiere, además, que el cuerpo tenga una capa dieléctrica, al menos en superficies orientadas hacia la cubierta del alojamiento o en toda su superficie.

Preferentemente, las capas dieléctricas mencionadas en la presente memoria tienen un grosor en el intervalo de 2 μm hasta 200 μm. Lo más preferible es que el intervalo se encuentre entre 10 μm y 30 μm. La capa puede comprender una capa anodizada, un óxido, cualquier material cerámico, una pintura, una película plástica, un material polimérico o cualquier combinación de los mismos.

Preferentemente, la cubierta está fijada al cuerpo de alojamiento mediante tornillos de plástico reforzados con fibra de vidrio. Esto evita cualquier contacto galvánico entre la cubierta y el cuerpo mediante los tornillos.

Los acoplamientos de entrada y de salida de los filtros pueden ser capacitivos. Preferentemente, estos acoplamientos son parte del conductor interno monolítico para los conectores externos respectivos. Los elementos de sintonización para los resonadores están fabricados, preferentemente, de óxido de aluminio. Preferentemente, todos los acoplamientos entre resonadores están fabricados de aluminio y están revestidos, preferentemente, de la misma forma que la cubierta. Como consecuencia, la cubierta y los elementos de sintonización solo están acoplados por el condensador entre los mismos. No existe contacto galvánico. Un elemento de fijación como una tuerca que fija los elementos de sintonización también está aislado, preferentemente, de forma que no realice un contacto galvánico ni con el elemento de sintonización ni con la cubierta. Puede haber un manguito dieléctrico entre una tuerca de fijación y un elemento de sintonización. Además, al menos un elemento de sintonización puede tener una capa dieléctrica en su exterior para evitar cualquier contacto galvánico con la cubierta. En general, preferentemente todos los elementos de los filtros son partes monolíticas y las uniones entre los elementos tienen una capa dieléctrica entre las mismas para evitar un contacto galvánico. Preferentemente, todos los condensadores entre los varios elementos monolíticos están diseñados para proporcionar un acoplamiento capacitivo sin un contacto

galvánico, de forma que proporcionen una impedancia suficientemente baja para ser una sustitución adecuado de un contacto galvánico en el intervalo deseado de frecuencia, pero sin el efecto negativo sobre la linealidad.

Los ensayos han demostrado, que la eficacia del apantallamiento del cuerpo cubierto por la cubierta no sea suficiente para evitar resultados incorrectos de medición mediante señales aleatorias captadas del entorno. Para mejorar el blindaje, se puede montar un blindaje adicional formado como una capucha encima de la cubierta del filtro que está conectada con el cuerpo de alojamiento del filtro mediante bandas de contacto, preferentemente fabricadas de berilio-cobre. En realidad, este es un contacto galvánico, pero está fuera de la estructura del filtro y, por lo tanto, está fuertemente desacoplado de las señales portadoras. La PIM creada por ese contacto también está desacoplada del puerto de salida de la PIM. Por lo tanto, ese capuchón adicional es una buena solución de compromiso para lograr una eficacia suficiente de apantallamiento mejor que 110 dB sin influir de forma significativa en la PIM residual del duplexor. Los conductores externos de los conectores de puerto del duplexor también pueden hacer contacto directamente con el cuerpo de alojamiento del filtro. Dado que el área de contacto aquí es pequeña, la desigualdad desempeña un papel secundario, así como la liberación de tensiones en el cuerpo de alojamiento del filtro. Por lo tanto, aquí es aceptable un contacto galvánico.

Se debe mencionar una desventaja de las características del diseño presentado. Debido a que la cubierta del filtro no hace contacto, el aislamiento lograble del puerto de entrada es limitado. El condensador entre el cuerpo de alojamiento y la cubierta en la arista entre los dos recorridos del filtro actúa como un condensador de bloque de puesta a tierra que presenta un comportamiento de paso bajo con un aislamiento limitado entre los recorridos, dependiendo del intervalo de frecuencia. Por esa razón, el duplexor presentado aquí ha sido diseñado con un aislamiento de puertos de únicamente 60 dB. El aislamiento deseado de aproximadamente 120 dB para dispositivos de medición de PIM se logra mediante filtros adicionales conectados con el primer puerto y el segundo puerto del duplexor. Los requisitos de estos filtros adicionales en cuanto a la PIM son mucho menores, por lo que se pueden utilizar productos estándar disponibles comercialmente.

En una realización adicional, se mejora la carga, que reduce, adicionalmente, la autointermodulación del banco de ensayos. Aquí, se termina el banco de ensayos con un segundo duplexor, conectado con el tercer puerto del duplexor del banco de ensayos. La salida de TX del segundo duplexor está conectada con una carga optimizada para la PIM, la salida de RX está terminada con una carga normal de 50 ohmios. El fin del segundo duplexor es bloquear la señal de PIM creada por la carga optimizada para la PIM, de forma que no pueda desplazarse hasta el puerto de ensayo del analizador de la PIM. Preferentemente, el segundo duplexor tiene la misma cubierta acoplada capacitivamente que el duplexor descrito anteriormente. Lo más preferible es que sea un duplexor idéntico.

Un duplexor para analizadores de PIM y un banco de ensayos de PIM que comprende al menos un duplexor tal proporcionan una autointermodulación reducida y, por lo tanto, permiten mediciones de PIM hasta niveles más bajos debido a la ausencia de cualquier contacto galvánico en el interior de la estructura del filtro. Por ello, se minimiza la creación de la PIM y se evitan los problemas de estabilidad a largo plazo de los contactos galvánicos.

El concepto básico del alojamiento del duplexor descrito en la presente memoria no está limitado a un duplexor sino que también puede aplicarse a cualquier filtro o incluso cualquier alojamiento de componentes electrónicos, cuando se requiera una PIM baja. Básicamente, un alojamiento comprende un cuerpo metálico monolítico, preferentemente mecanizado de una pieza, y una cubierta metálica acoplada de forma capacitiva con el cuerpo sin ningún contacto galvánico. Preferentemente, se proporciona un blindaje que cubre la cubierta. El blindaje puede tener al menos una superficie de contacto del cuerpo mediante la cual se encuentra en contacto galvánico con al menos una superficie de contacto del blindaje. La cubierta puede tener una capa dieléctrica, al menos en superficies orientadas hacia el cuerpo del alojamiento o en toda su superficie. El cuerpo puede tener una capa dieléctrica, al menos en superficies orientadas hacia la cubierta del alojamiento o en toda su superficie. Preferentemente, el cuerpo tiene una superficie de acoplamiento de la cubierta coincidente con una superficie de acoplamiento del cuerpo de la cubierta, pudiendo tener al menos una de la superficie de acoplamiento de la cubierta y de la superficie de acoplamiento del cuerpo una capa dieléctrica. La capa dieléctrica puede comprender al menos uno de un revestimiento, una capa de óxido y una capa galvánica. La cubierta puede estar fijada al cuerpo del alojamiento por medios que comprenden material aislante, preferentemente mediante tornillos, pernos o pasadores de plástico reforzado con fibra de vidrio. Preferentemente, al menos una de las varillas resonantes coaxiales es al menos parte del cuerpo de alojamiento. Es preferible que el filtro sea un duplexor. Es preferible, además, que el duplexor tenga un primer puerto conectado mediante un primer filtro de paso de banda con un tercer puerto y un segundo puerto conectado mediante un segundo filtro de paso de banda con el tercer puerto. Lo más preferente, el filtro es un duplexor que comprende seis componentes de filtro de cavidad elíptica utilizando, preferentemente, dos tripletes.

En la presente memoria, la expresión señales de RF hace referencia a cualquier señal de onda de frecuencia elevada, de radiofrecuencia, de microondas o de onda milimétrica. El término DUT significa dispositivo bajo ensayo, un objeto que ha de ser objeto de ensayo por parte del banco de ensayos. La expresión filtro o estructuras de filtro hacen referencia a componentes electrónicos selectivos en frecuencia o dirección. Ejemplos de filtros son filtros de paso alto, de paso bajo, de paso de banda o acopladores direccionales. Los componentes del filtro son componentes electrónicos que se utilizan en filtros. Ejemplos son inductores, condensadores y resonadores que incluyen resonadores dieléctricos y cavidades resonantes.

**Descripción de los dibujos**

A continuación, se describirá la invención a modo de ejemplo, sin limitación del concepto inventivo general, mediante ejemplos de realización con referencia a los dibujos.

La Figura 1 muestra una realización preferente en una vista desde arriba.
La Figura 2 muestra una vista lateral en sección del duplexor.
La Figura 3 muestra una sección ampliada de la figura 2.
La Figura 4 muestra los componentes principales del alojamiento.
La Figura 5 muestra una configuración de medición de PIM.
La Figura 6 muestra las pérdidas de inserción de ambos recorridos del duplexor.
La Figura 7 muestra curvas de intermodulación con una carga optimizada para la PIM.
La Figura 8 muestra una configuración con una carga mejorada.
La Figura 9 muestra curvas de intermodulación con una carga mejorada.
La Figura 10 muestra curvas de intermodulación con una carga mejorada y con un primer cable.
La Figura 11 muestra curvas de intermodulación con una carga mejorada y con un segundo cable.

En la figura 1 se muestra una realización preferente según la invención. Muestra una vista desde arriba de un cuerpo de alojamiento de un duplexor que puede ser utilizado para mediciones de PIM (intermodulación pasiva). En la figura 5 se muestra un diagrama de circuito de un banco de ensayos de PIM que utiliza este duplexor. En ella, el filtro tiene el número 100 de referencia. El cuerpo ejemplar de alojamiento mostrado es parte de un filtro peine. Tanto el recorrido de RX entre un conector 732 del segundo puerto y un conector 733 del tercer puerto, como el recorrido de TX entre un conector 731 del primer puerto y el conector 733 del tercer puerto tienen seis componentes de filtro de cavidad elíptica que utilizan dos tripletes para lograr la pendiente necesaria del borde del filtro creando dos ceros de transmisión en la banda de bloqueo de cada recorrido. Los dos recorridos se combinan con un nodo común.

Preferentemente, el duplexor tiene un cuerpo monolítico 700 de alojamiento fabricado, de forma más preferible, mediante fresado a partir de aluminio o cualquier otro material conductivo adecuado. Preferentemente, el alojamiento contiene componentes de filtro como las varillas resonantes 740 o los acoplamientos 742 entre resonadores. También puede formar cavidades resonantes. Preferentemente, las varillas resonantes coaxiales 740 son parte del cuerpo de alojamiento. Una cubierta metálica 780, que comprende, preferentemente, aluminio, está acoplada de forma capacitiva con el cuerpo 700 de alojamiento del filtro sin ningún contacto galvánico. Esto puede lograrse revistiendo la cubierta 780 con una capa dieléctrica delgada. Preferentemente, la capa dieléctrica tiene un grosor en un intervalo de 2 μm hasta 200 μm. Lo más preferible es que el intervalo se encuentre entre 10 μm y 30 μm. La capa puede comprender una capa anodizada, un óxido, cualquier material cerámico, una pintura, una película plástica, un material polimérico o cualquier combinación de los mismos. Además o de forma alternativa, el cuerpo 700 de alojamiento o al menos una superficie 710 de acoplamiento de la cubierta a la que se fija la cubierta, está revestido por tal capa dieléctrica delgada. Preferentemente, la cubierta 780 está fijada al cuerpo 700 de alojamiento mediante tornillos aislados 782, que comprenden, preferentemente, plástico reforzado con fibra de vidrio. Las paredes internas pueden separar las secciones del filtro entre sí y los espacios huecos 719. Puede haber agujeros roscados 711 de tornillo en el cuerpo.

Se puede utilizar cualquiera de las anteriores características individualmente o en cualquier combinación en el filtro:

Los acoplamientos 736, 737, 738 de entrada y de salida con los conectores 731, 732, 733 de los filtros pueden ser capacitivos. Preferentemente, estos acoplamientos son parte del conductor interno monolítico para el conector respectivo 731, 732, 733. Preferentemente, los elementos 741 de sintonización para los resonadores 740 están fabricados de óxido de aluminio o de cualquier otro material dieléctrico adecuado. Preferentemente, todos los acoplamientos 742 entre resonadores están fabricados de aluminio y tienen una capa dieléctrica y están revestidos, preferentemente, de la misma forma que la cubierta. Como consecuencia, la cubierta y los elementos de sintonización solo están acoplados por el condensador entre los mismos. No existe un contacto galvánico. Las tuercas 745 que fijan los elementos de sintonización también están aisladas, preferentemente, de forma que tampoco realicen, preferentemente, un contacto galvánico con el elemento de sintonización y/o con la cubierta. El aislamiento de al menos un elemento de sintonización puede realizarse mediante una capa dieléctrica en la cubierta y/o en el al menos un elemento de sintonización y/o mediante un manguito dieléctrico para sujetar el al menos un elemento de sintonización. En general, todos los elementos de los filtros son, preferentemente, partes monolíticas bien con el alojamiento 700 o bien con la cubierta 780 y las uniones entre los elementos tienen una capa dieléctrica entre las mismas para evitar un contacto galvánico. Preferentemente, todos los condensadores entre los varios elementos monolíticos están diseñados para proporcionar un acoplamiento capacitivo sin un contacto galvánico, de forma que proporcionen una impedancia suficientemente baja para que sea una sustitución adecuada de un contacto galvánico en el intervalo deseado de frecuencia, pero sin el efecto negativo sobre la linealidad.

La Figura 2 muestra una vista lateral en sección del duplexor. Aquí, se muestra que las varillas resonantes coaxiales 740 son una parte del cuerpo 700 de alojamiento.

La Figura 3 muestra una sección ampliada de la figura 2. Aquí, el plano del acoplamiento capacitivo entre el cuerpo 700de alojamiento y la cubierta 780 está marcado por las flechas 750. Aquí, una superficie 781 de acoplamiento del cuerpo de la cubierta (orientada hacia la cubierta, hacia abajo en la figura) hace contacto mecánicamente —pero no galvánicamente— con una superficie 710 de acoplamiento de la cubierta del cuerpo 700. Al menos una de las superficies opuestas de acoplamiento tiene una capa dieléctrica para el aislamiento. El blindaje 790 se encuentra en contacto galvánico con el cuerpo de alojamiento, por ejemplo, en la circunferencia del cuerpo de alojamiento marcado con la flecha 760. Este contacto está formado por una superficie 795 de contacto del cuerpo del blindaje 790 que hace contacto con una superficie 715 de contacto del blindaje en el cuerpo 700.

La Figura 4 muestra los componentes principales del alojamiento, el cuerpo 700, la cubierta 780 y el blindaje 790 en un estado desmontado. Aquí, se muestran la superficie 781 de acoplamiento del cuerpo de la cubierta 780, el acoplamiento capacitivo con la superficie 710 de acoplamiento de la cubierta del cuerpo 700, y la superficie 795 de contacto del cuerpo del blindaje 790 en contacto con una superficie 715 de contacto del blindaje en el cuerpo 700.

En la figura 5, se muestra una configuración de medición, también denominado banco de ensayos, que cumple los requisitos del estándar internacional IEC 62037-1. Las señales en un intervalo 161 de frecuencia se aplican a un DUT y se miden las señales de intermodulación generadas por el DUT en un segundo intervalo 162 de frecuencia. En la presente memoria se muestran ejemplos con un primer intervalo de frecuencia desde 1805 MHz hasta 1880 MHz y un segundo intervalo de frecuencia desde 1710 MHz hasta 1785 MHz. Es evidente que se pueden utilizar cualquier otra frecuencia o intervalo de frecuencia. La configuración de medición utiliza la salida de un primer generador 210 de señales que genera una señal sinusoidal a una primera frecuencia 218 en el primer intervalo de frecuencia y de un segundo generador 220 de señales que genera una señal sinusoidal a una segunda frecuencia 228 en el primer intervalo de frecuencia. Preferentemente, la frecuencia de cada uno de los generadores de señales es regulable en el primer intervalo de frecuencia. Las señales pueden ser amplificadas por medio de amplificadores 211, 221 de potencia hasta la potencia necesaria. Ambas señales amplificadas pueden ser combinadas con un acoplador direccional 230 de 3 dB. Puede haber circuladores 212, 222 en las entradas del acoplador direccional para aumentar el aislamiento del acoplador direccional que es necesario para minimizar la creación de productos de intermodulación en el amplificador de potencia. El tercer puerto de los circuladores está terminado, preferentemente, por una terminación 213, 223 del circulador. Preferentemente, el puerto aislado del acoplador direccional está terminado con una terminación 231 del acoplador direccional. En vez de combinar los dos generadores de señales, se puede utilizar un generador de señales duales.

Después del acoplador direccional 230, las dos señales combinadas pasan por un recorrido de TX de un duplexor 100 a través de un primer puerto 131 mediante un primer filtro duplexor 110 a través de un tercer puerto 133 hasta un DUT (dispositivo bajo ensayo) 300. Preferentemente, el primer filtro duplexor 110 es un filtro de paso de banda para el primer intervalo de frecuencia. Preferentemente, el segundo filtro duplexor 120 es un filtro de paso de banda para el segundo intervalo de frecuencia. El tercer puerto 133 es el puerto 201 del DUT del banco de ensayos. El DUT está terminado por una carga 280 optimizada para la PIM. Tal carga optimizada para la PIM tiene una autointermodulación mínima que debería ser significativamente por debajo de la PIM del DUT. La intermodulación creada en el DUT se propaga tanto en la dirección directa como en la inversa. La señal en la dirección inversa pasa a través del recorrido de RX del duplexor 100 a través del tercer puerto 133 mediante un segundo filtro duplexor 120 a través de un segundo puerto 132. Esta señal puede ser amplificada adicionalmente por un LNA (amplificador de nivel bajo de ruidos) 260 y puede ser representada visualmente por un analizador 270 de espectro o cualquier otro dispositivo adecuado. En el primer puerto 131 del duplexor puede haber un primer filtro 240 de separación para el primer intervalo de frecuencia y en el segundo puerto 132 del duplexor puede haber un segundo filtro 250 de separación para el segundo intervalo de frecuencia. Estos filtros son utilizados para aumentar el aislamiento hasta un valor necesario de 120 dB. Preferentemente, se regula la potencia de las dos señales sinusoidales a +43 dBm (20 W) en el tercer puerto del duplexor, que es la potencia estándar para mediciones de PIM según se define en IEC 62037-1.

En la Figura 6, se muestran las pérdidas de inserción de ambos recorridos del duplexor en un intervalo de frecuencia desde 1,6 GHz hasta 2,0 GHz. La curva 151 muestra la pérdida de inserción del recorrido de transmisión (TX) desde el primer puerto 131 hasta el tercer puerto 133, mientras que la curva 152 muestra la pérdida de inserción del recorrido de recepción (RX) desde el tercer puerto 133 hasta el segundo puerto 132. El eje horizontal del diagrama muestra la frecuencia en un intervalo desde 1,6 GHz hasta 2,0 GHz. La frecuencia central se encuentra a 1,8 GHz. El eje vertical muestra en una escala logarítmica la atenuación de la señal en unidades de 10 dB comenzando desde -90 dB en la parte inferior hasta +10 dB en la parte superior. En el diagrama, se marcan el primer intervalo ejemplar 161 de frecuencia desde 1805 MHz hasta 1880 MHz y el segundo intervalo ejemplar 162 de frecuencia desde 1710 MHz hasta 1785 MHz. Además, se marcan una primera frecuencia ejemplar 218 y una segunda frecuencia ejemplar 228 generadas por el primer generador 210 de señales y por el segundo generador 220 de señales.

La Figura 7 muestra el resultado de la medición del producto de intermodulación de 3$^{er}$ orden cuando se termina el tercer puerto con una carga optimizada para la PIM disponible comercialmente y se varían las frecuencias portadoras de tal forma que se utilice todo el ancho de banda de la señal PIM representable con el banco de ensayos. La primera curva continua 611 muestra la intermodulación desde 1730 hasta 1785 MHz, en la que se fija la primera frecuencia a 1805 MHz y se varía la segunda frecuencia desde 1825 hasta 1880 MHz. La segunda curva

discontinua 612 muestra la intermodulación desde 1730 hasta 1785 MHz, variándose la primera frecuencia desde 1805 hasta 1832,5 MHz y se fija la segunda frecuencia a 1800 MHz. El eje horizontal muestra la frecuencia desde 1730 hasta 1785 MHz. El eje vertical muestra la diferencia de nivel entre los niveles primero y segundo de señal (+43 dBm es igual a 20 W) y la señal de intermodulación en dBc comenzando desde -220 dBc en la parte inferior hasta -160 dBc en la parte superior. Según parece, la autointermodulación resultante de por debajo de -171 dBc no es distinta a la de bancos comunes de ensayo de PIM.

La Figura 8 muestra una configuración con una carga mejorada 400. Aquí, se termina el puerto 201 del DUT del banco 200 de ensayos con una carga mejorada 400. Esta carga mejorada comprende un segundo duplexor 500 conectado mediante su primer puerto 531 con una carga 280 optimizada para la PIM y mediante su segundo puerto 532 con una carga estándar. La salida de TX del segundo duplexor está conectada con una carga optimizada para la PIM, la salida de RX se termina con una carga estándar 410. Preferentemente, el segundo duplexor tiene un primer filtro 510 de paso de banda para el primer intervalo de frecuencia conectado entre un primer puerto 531 y un tercer puerto 533. Preferentemente, el segundo duplexor tiene un segundo filtro 520 de paso de banda para el segundo intervalo de frecuencia conectado entre un segundo puerto 532 y el tercer puerto 533. El tercer puerto 533 hace de entrada 401 de carga mejorada. El fin del segundo duplexor 500 es bloquear la señal PIM creada por la carga optimizada para la PIM 280, de forma que no pueda desplazarse hasta el puerto de ensayo del analizador de PIM. Se puede conectar un dispositivo bajo ensayo entre el puerto 201 del DUT y la entrada 401 de la carga mejorada 400.

La Figura 9 muestra un resultado de medición con el tercer puerto terminado por un segundo duplexor 500, según se muestra en la anterior figura. El diagrama es comparable con la figura 6. La curva 621 muestra una medición en las mismas condiciones que la curva 611. La curva 622 muestra una medición en las mismas condiciones que la curva 612. La intermodulación medida en todo el ancho de banda es inferior a -188 dBc que es casi 20 dB mejor que las mejores máquinas de ensayo de PIM disponibles comercialmente.

Las Figuras 10 y 11 muestran los resultados de un ensayo de verificación. Puede ser posible que el resultado mostrado anteriormente sea la consecuencia de una resta de la intermodulación del banco de ensayos y del duplexor utilizado como terminación. Por lo tanto, se ha realizado un experimento de verificación en el que se ha utilizado un cable superflexible instalado en fábrica de 12,7 mm entre el tercer puerto del banco de ensayos y el duplexor de terminación de la carga mejorada para lograr una separación de ambos productos de intermodulación residual. Ambas fuentes de PIM separadas por una línea de transmisión tienen como resultado un nivel de intermodulación periódica en frecuencia con un máximo cuando se suman las señales y un mínimo cuando se cancelan entre sí. La línea de transmisión debería tener una longitud que provoque al menos una diferencia de desfase entre el borde superior y el inferior de la banda observada. Entonces, se representa visualmente un periodo completo de un mínimo y de un máximo. Por lo tanto, la longitud del cable debería ser la siguiente:

$$l = \frac{v_f}{2\Delta f}$$

$V_f$ es la velocidad de fase y Δf es el ancho de banda de los productos de intermodulación que puede ser representada visualmente por el banco de ensayos. En este caso, la velocidad de fase del cable de empalme es un 77% de la velocidad de la luz y el intervalo representable visualmente de frecuencia para los productos de intermodulación de 3$^{er}$ orden es desde 1730 MHz hasta 1785 MHz en el segundo intervalo de frecuencia. Por lo tanto, la longitud de un cable superflexible de 12,7 mm debe ser de 2,1 m.

Se muestran los resultados de los ensayos para dos muestras distintas de cable. La Figura 10 muestra los resultados de las mismas mediciones de la figura 9, pero con un primer cable entre el tercer puerto del duplexor y la carga mejorada. La curva 631 se corresponde con la curva 621 y la curva 632 se corresponde con la curva 622.

La Figura 11 muestra los resultados de las mismas mediciones de la figura 10, pero con otro cable que tiene la misma longitud: el segundo cable entre el tercer puerto del duplexor y la carga mejorada. La curva 641se corresponde con la curva 631 y la curva 642 se corresponde con la curva 632.

Para ambas mediciones, el nivel de PIM tiene un máximo a aproximadamente 1765 MHz y un mínimo a aproximadamente 1732 MHz. Los resultados cumplen las expectativas del comportamiento dependiente de la frecuencia del producto de intermodulación cuando se suman las señales de ambas fuentes con una distancia eléctrica de 2,75 m (= 2,1 m / 77%). Dado que el máximo muestra la adición de ambas señales, puede concluirse que la PIM residual del banco de ensayos es mejor que -185 dBc a una potencia de portadora de +43 dBm en toda la banda de medición.

Se debe mencionar que esta verificación sigue teniendo un punto débil: se supone que la PIM del cable coaxial es insignificante. Sin embargo, el cable y los conectores están fabricados de materiales lineales y las uniones entre los conductores interno y externo del cable y los conectores instalados en fábrica están soldados, lo que debería dar lugar a productos muy pequeños de intermodulación. Adicionalmente, se ha llevado a cabo el ensayo para muchas

muestras de cable con un resultado similar. Por lo tanto, es muy probable que la medición represente la PIM residual del banco de ensayos en vez de la autointermodulación del cable.

**Lista de números de referencia**

| | |
|---|---|
| 100 | duplexor |
| 110 | primer filtro duplexor |
| 120 | segundo filtro duplexor |
| 131 | primer puerto |
| 132 | segundo puerto |
| 133 | tercer puerto |
| 151 | pérdida de inserción del primer puerto al tercer puerto |
| 152 | pérdida de inserción del tercer puerto al segundo puerto |
| 161 | primer intervalo de frecuencia |
| 162 | segundo intervalo de frecuencia |
| 200 | banco de ensayos de PIM |
| 201 | puerto del DUT del banco de ensayos |
| 210 | primer generador de señales |
| 211 | primer amplificador de potencia |
| 212 | primer circulador |
| 213 | terminación del primer circulador |
| 218 | primera frecuencia |
| 220 | segundo generador de señales |
| 221 | segundo amplificador de potencia |
| 222 | segundo circulador |
| 223 | terminación del segundo circulador |
| 228 | segunda frecuencia |
| 230 | acoplador direccional |
| 231 | terminación del acoplador direccional |
| 240 | primer filtro de separación |
| 250 | segundo filtro de separación |
| 260 | LNA (amplificador de nivel bajo de ruidos) |
| 270 | analizador de espectro |
| 280 | carga optimizada para la PIM |
| 300 | DUT (dispositivo bajo ensayo) |
| 400 | carga mejorada |
| 401 | entrada de carga mejorada |
| 410 | carga estándar |
| 500 | segundo duplexor |
| 510 | primer filtro duplexor |
| 520 | segundo filtro duplexor |
| 531 | primer puerto |
| 532 | segundo puerto |
| 533 | tercer puerto |
| 611 | primera curva de intermodulación con carga optimizada para la PIM |
| 612 | segunda curva de intermodulación con carga optimizada para la PIM |
| 621 | primera curva de intermodulación con carga mejorada |
| 622 | segunda curva de intermodulación con carga mejorada |
| 631 | primera curva de intermodulación con carga mejorada y primer cable |
| 632 | segunda curva de intermodulación con carga mejorada y primer cable |
| 641 | primera curva de intermodulación con carga mejorada y segundo cable |
| 642 | segunda curva de intermodulación con carga mejorada y segundo cable |
| 700 | cuerpo de alojamiento del duplexor |
| 710 | superficie de acoplamiento de la cubierta |
| 711 | agujeros para tornillos aislados |
| 715 | superficie de contacto del blindaje |
| 719 | espacio hueco |
| 720 | bandas de contacto |
| 740 | varillas resonantes |
| 741 | elemento de sintonización |
| 731 | conector del primer puerto |
| 732 | conector del segundo puerto |
| 733 | conector del tercer puerto |
| 736 | acoplador capacitivo del primer puerto |
| 737 | acoplador capacitivo del segundo puerto |

738 acoplador capacitivo del tercer puerto
740 varillas resonantes coaxiales
741 elementos dieléctricos de sintonización
742 acoplamientos entre resonadores
745 tuerca de fijación para elementos de sintonización
750 acoplamiento capacitivo
760 contacto galvánico
780 cubierta metálica
781 superficie de acoplamiento del cuerpo
782 tornillos aislados
790 blindaje
795 superficie de contacto del cuerpo

## REIVINDICACIONES

**1.** Un filtro para señales de RF que comprende al menos un componente (740, 742) de filtro y un alojamiento metálico, comprendiendo el alojamiento un cuerpo metálico monolítico (700), comprendiendo el filtro al menos una varilla resonante coaxial (740), **caracterizado porque**
el alojamiento comprende una cubierta metálica (780) acoplada de forma capacitiva con el cuerpo sin ningún contacto galvánico.

**2.** El filtro según la reivindicación 1,
**caracterizado porque**
al menos una de las varillas resonantes coaxiales (740) es al menos parte del cuerpo (700) de alojamiento.

**3.** El filtro según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, **caracterizado porque**
la cubierta (780) tiene una capa dieléctrica, al menos en superficies orientadas hacia el cuerpo (700) de alojamiento o en toda su superficie.

**4.** El filtro según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, **caracterizado porque**
el cuerpo (700) tiene una capa dieléctrica, al menos en superficies orientadas hacia la cubierta (780) o en toda su superficie.

**5.** El filtro según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, **caracterizado porque**
el cuerpo tiene una superficie (710) de acoplamiento de la cubierta coincidente con una superficie (781) de acoplamiento del cuerpo de la cubierta.

**6.** El filtro según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, **caracterizado porque**
al menos una de la superficie de acoplamiento de la cubierta y de la superficie de acoplamiento del cuerpo tiene una capa dieléctrica.

**7.** El filtro según una cualquiera de las reivindicaciones 3, 4 y 6, **caracterizado porque**
la capa dieléctrica comprende al menos uno de un revestimiento, una capa de óxido, una capa anodizada, un óxido, cualquier material cerámico, una pintura, una película plástica, un material polimérico o cualquier combinación de los mismos.

**8.** El filtro según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, **caracterizado porque**
la cubierta está fijada al cuerpo de alojamiento por medios que comprenden material aislante, preferentemente por tornillos, pernos o pasadores de plástico reforzado con fibra de vidrio.

**9.** El filtro según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, **caracterizado porque**
se proporciona un blindaje (790) cubriendo la cubierta (780), en el que el blindaje (790) tiene, preferentemente, al menos una superficie (795) de contacto del cuerpo mediante la cual se encuentra en contacto galvánico con al menos una superficie (715) de contacto de blindaje del blindaje.

**10.** El filtro según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, **caracterizado porque**
el filtro es un duplexor que tiene un primer puerto conectado mediante un primer filtro de paso de banda con un tercer puerto y un segundo puerto conectado mediante un segundo filtro de paso de banda con el tercer puerto.

**11.** El filtro según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, **caracterizado porque**
el filtro es un duplexor que comprende seis componentes de filtro de cavidad elíptica que utilizan, preferentemente, dos tripletes.

**12.** El filtro según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, que comprende al menos una de las siguientes características:

- al menos un acoplador de puerto del filtro es capacitivo,
- al menos un acoplador de puerto del filtro es parte de un conductor interno monolítico de un conector,
- se proporciona al menos un elemento de sintonización para un resonador y comprende, preferentemente, óxido de aluminio,
- al menos un acoplamiento entre resonadores que está fabricado de aluminio y tiene una capa dieléctrica,
- una tuerca para fijar los elementos de sintonización también está diseñada de forma que no haga contacto galvánico ni con el elemento de sintonización ni con la cubierta,
- todos los elementos de los filtros son partes monolíticas y las uniones entre los elementos tienen un revestimiento dieléctrico entre las mismas para evitar un contacto galvánico,
- todos los condensadores entre los varios elementos monolíticos están diseñados de forma que proporcionen una impedancia suficientemente baja para ser una sustitución adecuada de un contacto galvánico en el intervalo deseado de frecuencia, pero sin el efecto negativo sobre la linealidad.

**13.** Un banco de ensayos para medir la intermodulación pasiva, PIM, que comprende:

al menos un filtro según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, siendo el filtro un primer duplexor que tiene un primer puerto conectado mediante un primer filtro de paso de banda con un tercer puerto y un segundo puerto conectado mediante un segundo filtro de paso de banda con el tercer puerto
al menos una fuente de señales de RF que proporciona señales de RF a una primera frecuencia y a una segunda frecuencia conectada con el primer puerto,
un analizador de espectro conectado con el segundo puerto y
una carga conectada con el tercer puerto
en el que se proporcionan medios para conectar un DUT entre el tercer puerto y la carga.

**14.** Un banco de ensayos según la reivindicación 13 que comprende un segundo duplexor y una carga estándar, estando conectado el segundo duplexor
con su tercer puerto al tercer puerto del primer duplexor,
con su primer o segundo puerto a la carga, y
con su segundo o primer puerto a la carga estándar,
en el que se proporcionan medios para conectar un DUT entre el tercer puerto del primer duplexor y el tercer puerto del segundo duplexor.

Fig. 1

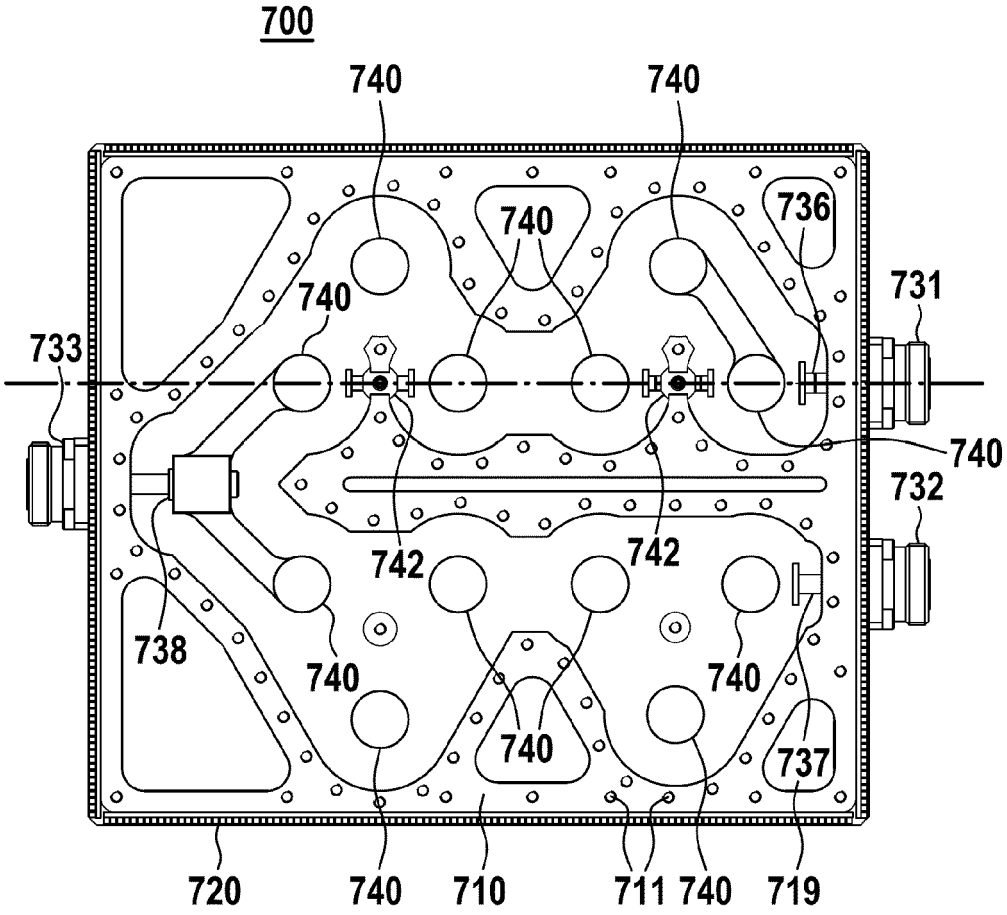

700
740
740
740
736
740
731
733
740
732
742
742
738
740
740
740
737
720
740
710
711
740
719

**Fig. 2**

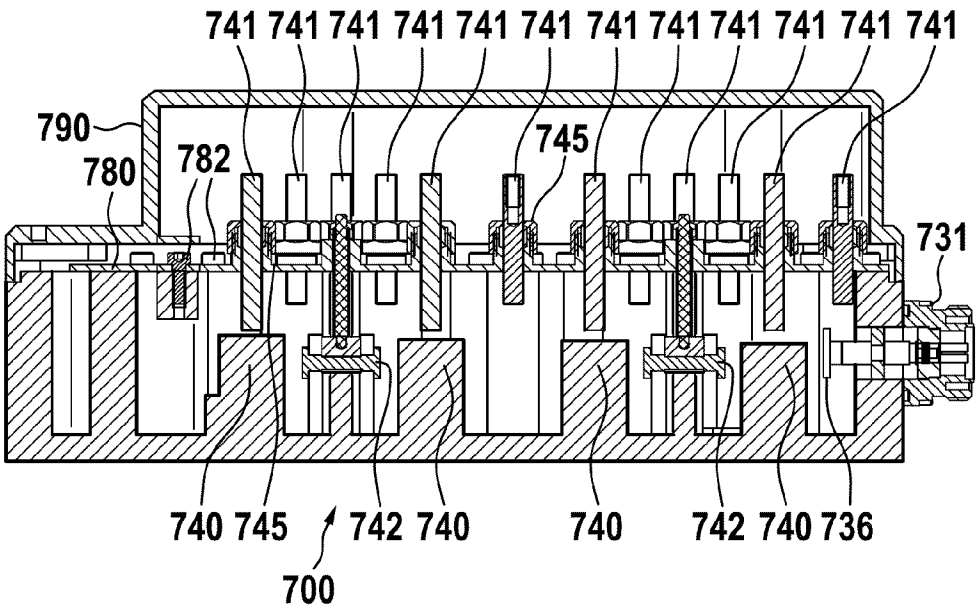

741 741 741 741 741 741 741 741 741 741 741 741
790
780
782
745
731
740 745
742 740
740
742 740 736
700

Fig. 3

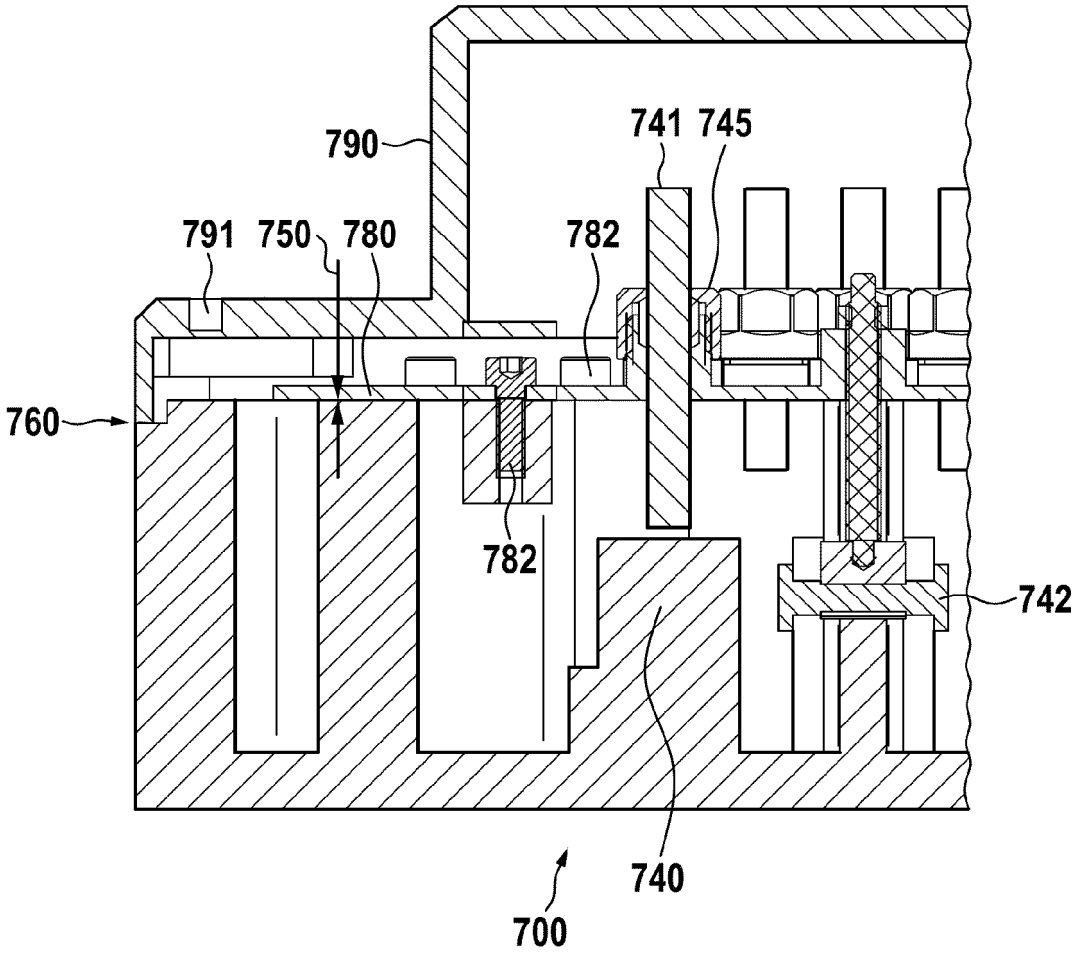


**Fig. 4**

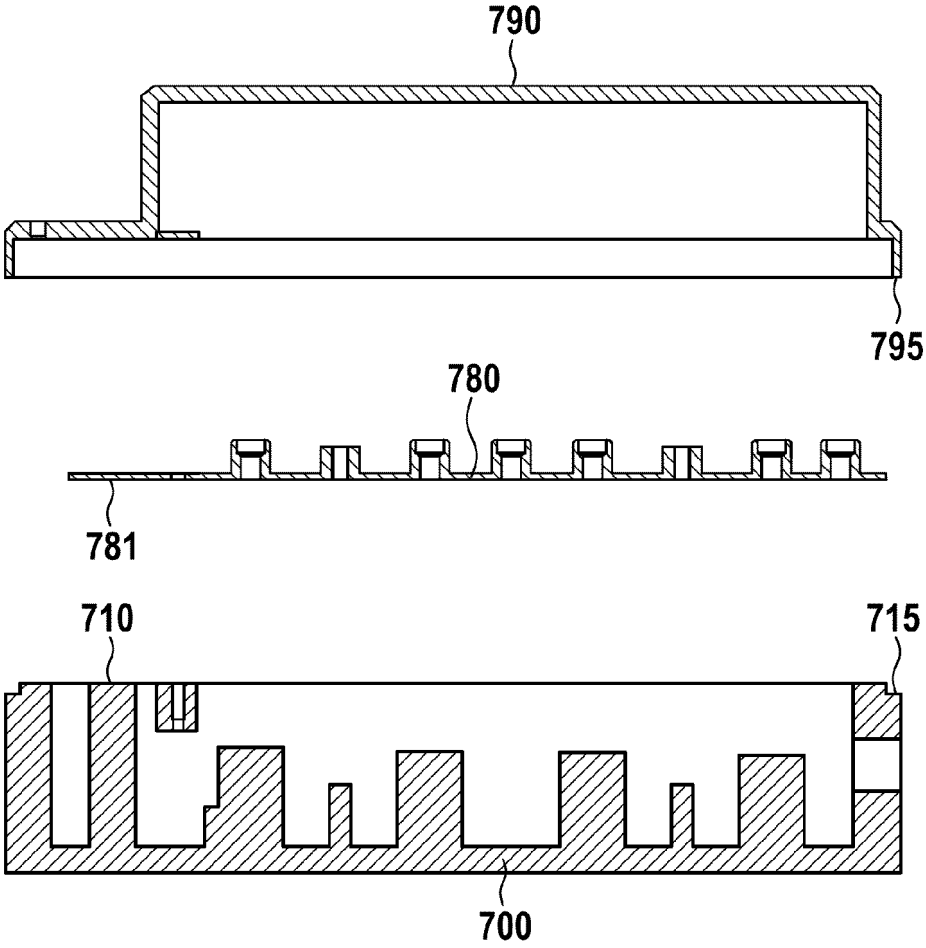


**Fig. 5**

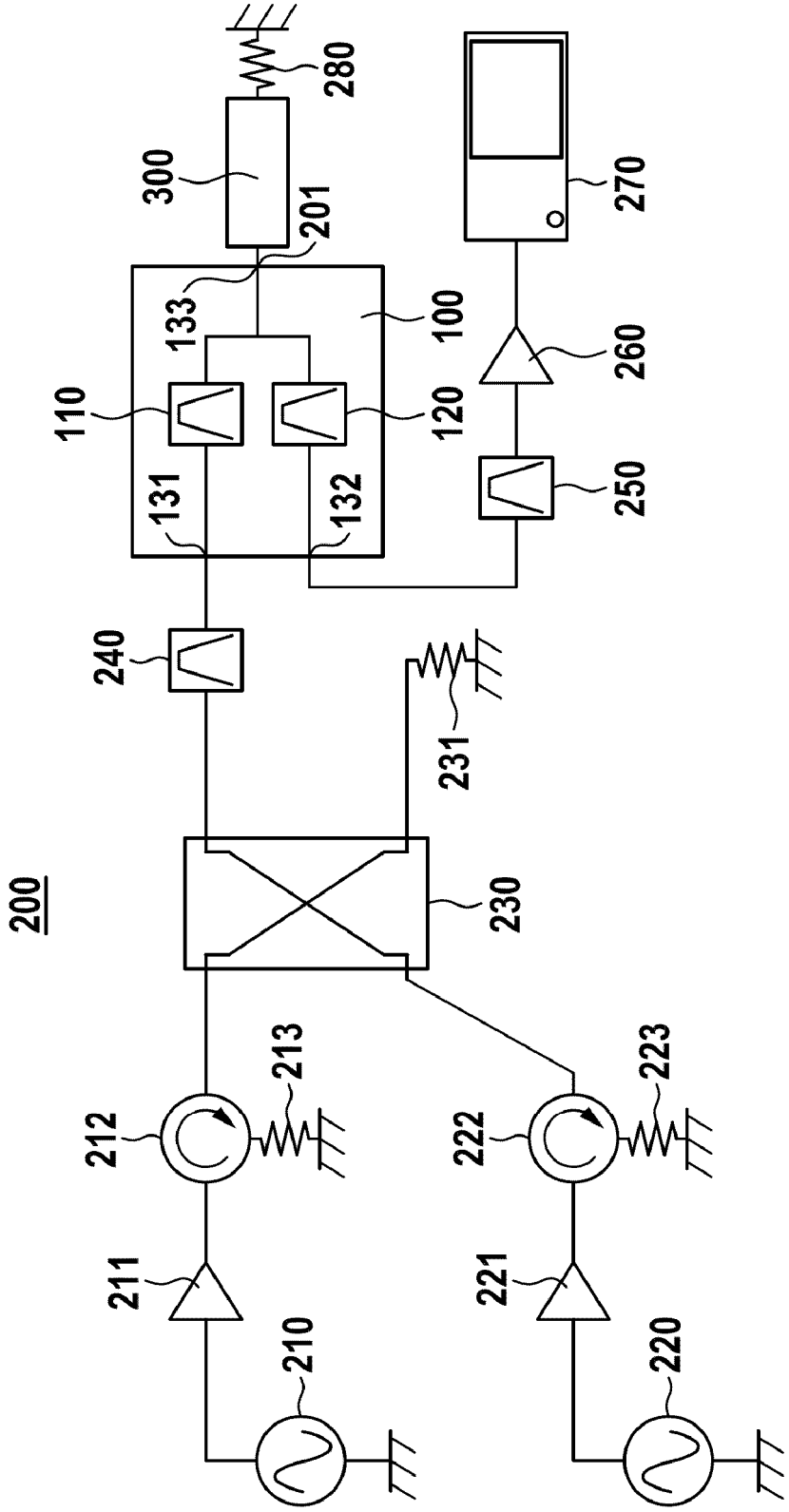

200
210
211
212
213
220
221
222
223
230
231
240
250
260
270
280
300
100
110
120
131
132
133
201

Fig. 6

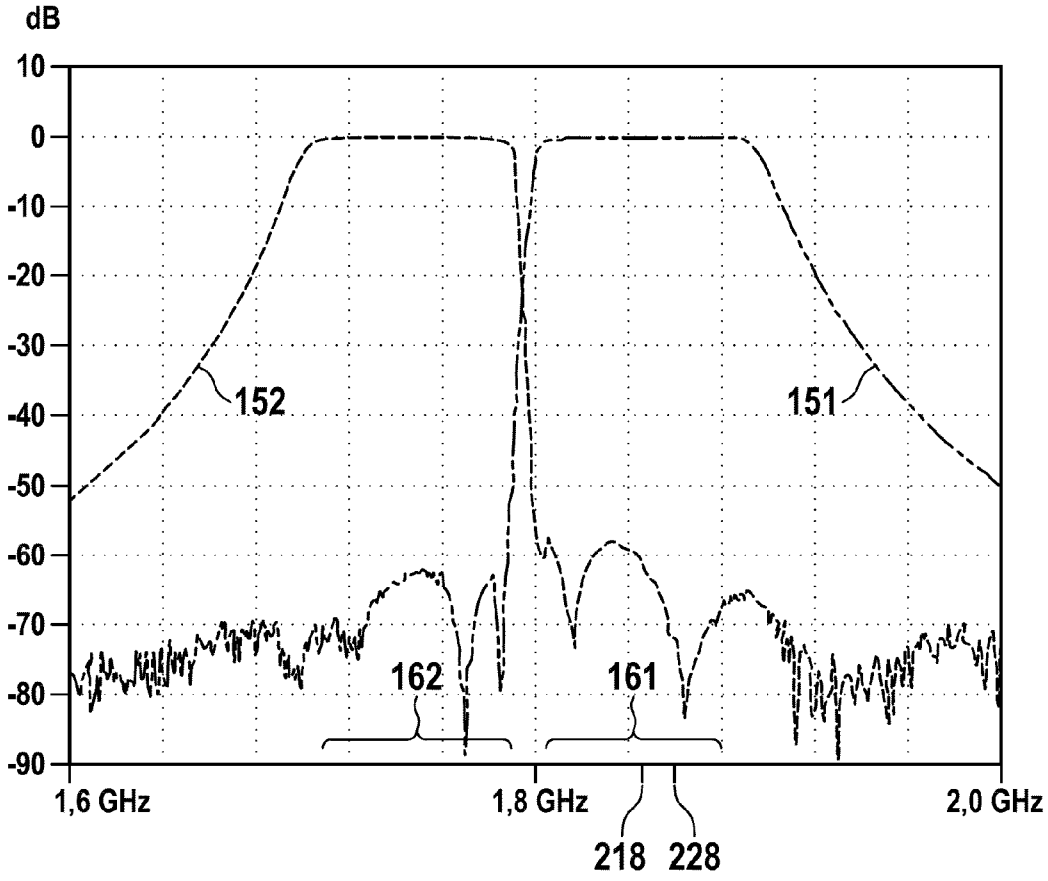

dB
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
152
151
162
161
1,6 GHz
1,8 GHz
2,0 GHz
218
228

**Fig. 7**

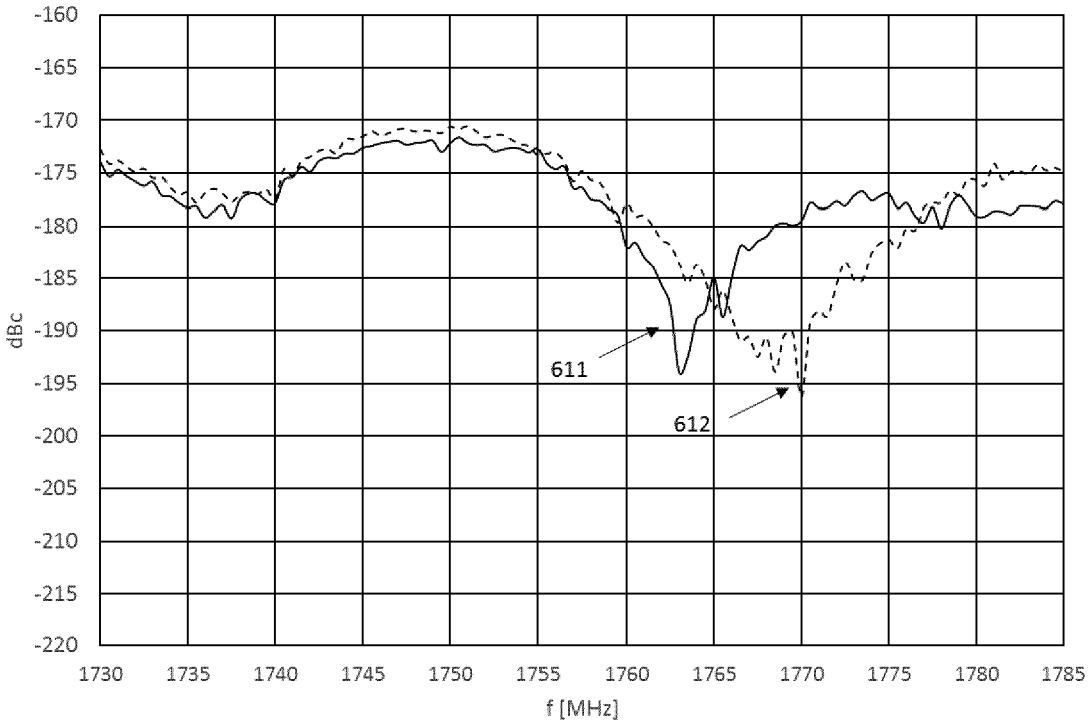

-160
-165
-170
-175
-180
-185
-190
-195
-200
-205
-210
-215
-220
dBc
611
612
1730
1735
1740
1745
1750
1755
1760
1765
1770
1775
1780
1785
f [MHz]

**Fig. 8**

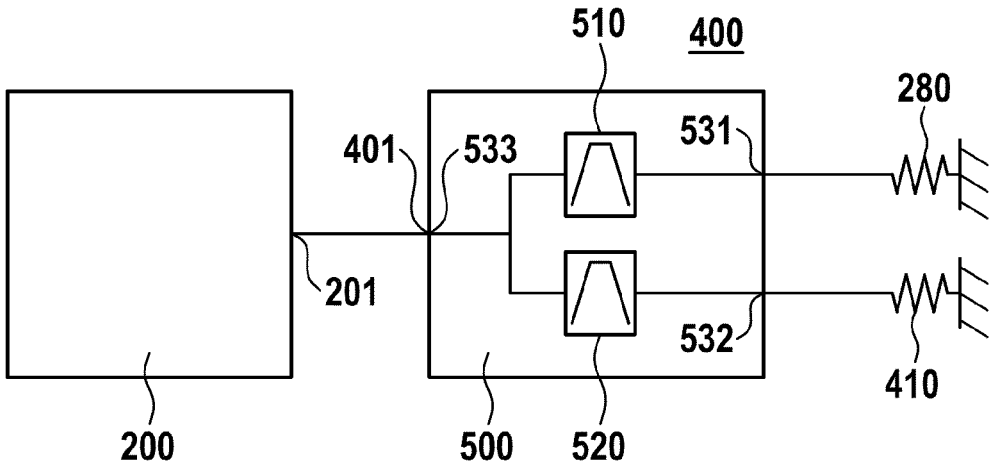

510
400
280
401
533
531
201
532
410
200
500
520

**Fig. 9**

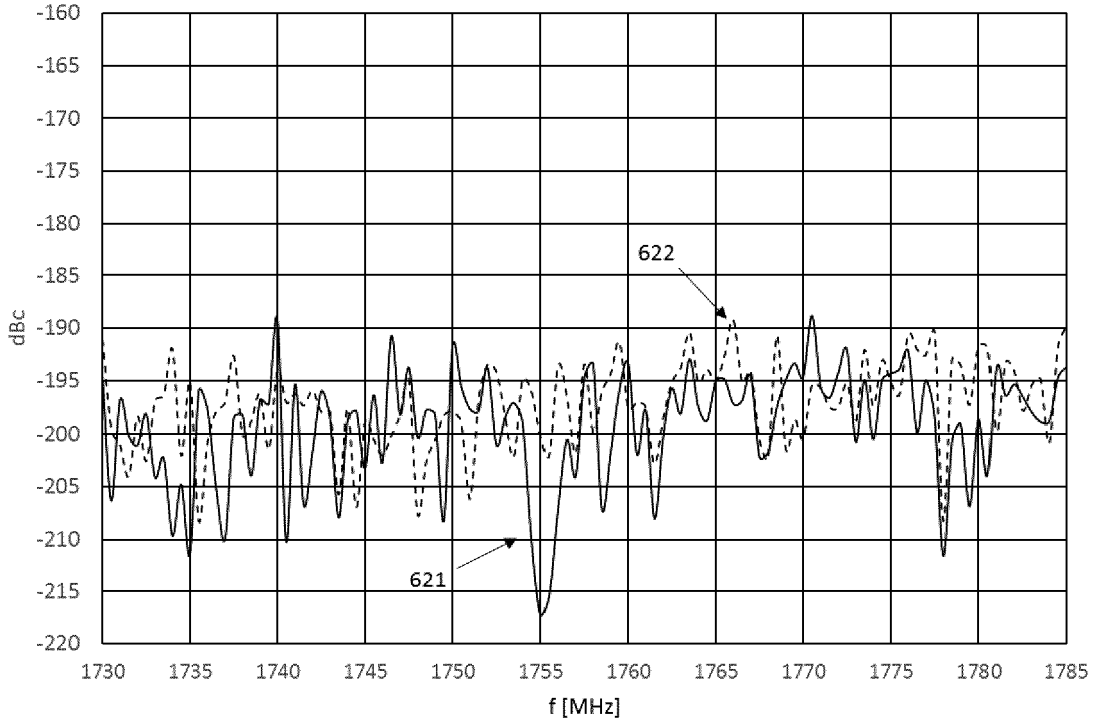

-160
-165
-170
-175
-180
-185
-190
-195
-200
-205
-210
-215
-220
dBc
622
621
1730
1735
1740
1745
1750
1755
1760
1765
1770
1775
1780
1785
f [MHz]

**Fig. 10**

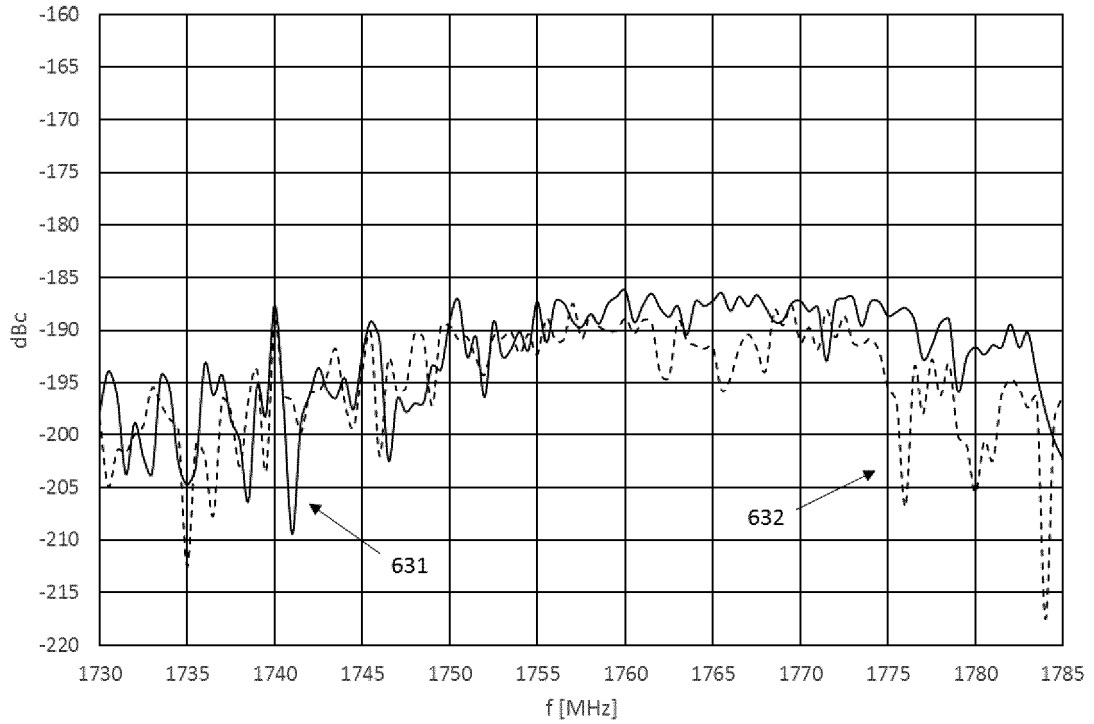
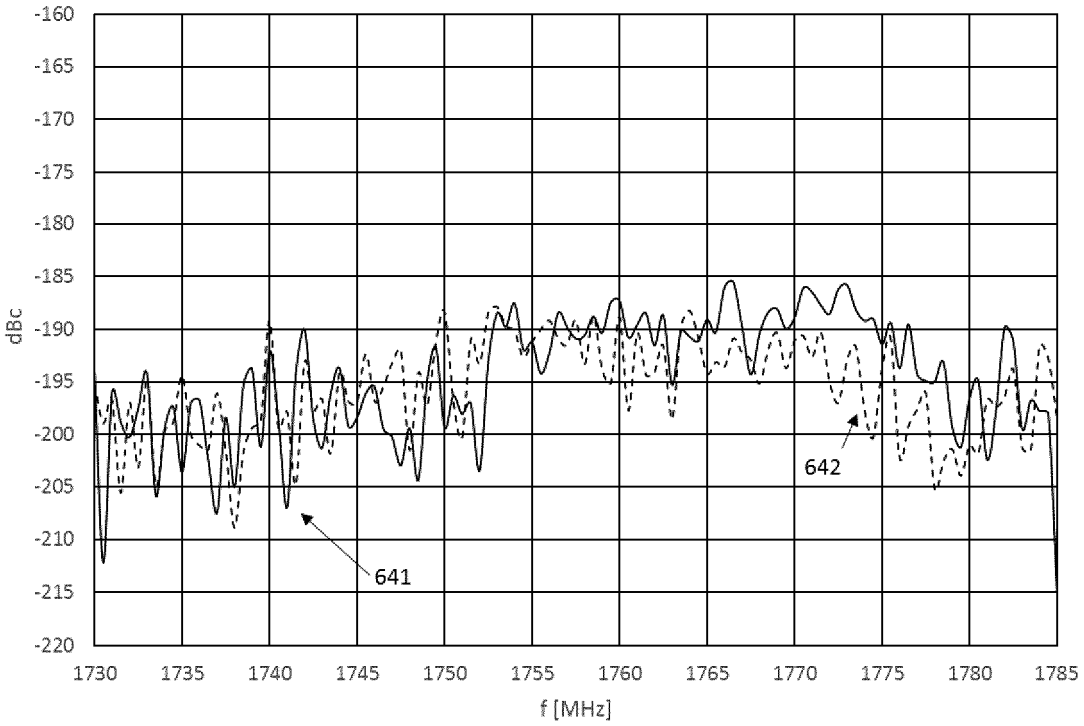

-160
-165
-170
-175
-180
-185
-190
-195
-200
-205
-210
-215
-220
dBc
631
632
1730
1735
1740
1745
1750
1755
1760
1765
1770
1775
1780
1785
f [MHz]

**Fig. 11**


-160
-165
-170
-175
-180
-185
-190
-195
-200
-205
-210
-215
-220
dBc
1730
1735
1740
1745
1750
1755
1760
1765
1770
1775
1780
1785
f [MHz]
641
642