

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 590 043**

51 Int. Cl.:

G06K 19/07 (2006.01)

G01R 31/28 (2006.01)

H01Q 1/22 (2006.01)

G06K 7/00 (2006.01)

G01R 31/302 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.06.2013** **E 13003269 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.06.2016** **EP 2706485**

54 Título: **Determinación de parámetros eléctricos de una tarjeta sin contacto**

30 Prioridad:

05.09.2012 CH 15832012

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

17.11.2016

73 Titular/es:

LEGIC IDENTSYSTEMS AG (100.0%)
Binzackerstrasse, 41
8620 Wetzikon, CH

72 Inventor/es:

AEBISCHER, HUBERT A.

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 590 043 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

Determinación de parámetros eléctricos de una tarjeta sin contacto

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un aparato y procedimiento de determinación de uno o más parámetros de un dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto.

Técnica antecedente

10 Los dispositivos de almacenamiento de datos sin contacto, de aquí en adelante también denominados como "tarjetas sin contacto", tales como por ejemplo los transpondedores RFID (RFID: "Radio Frequency Identification", identificación por radiofrecuencia), son ampliamente usados en sistemas de control de acceso y otras aplicaciones. Usando un dispositivo de lectura/escritura, se accede a los datos almacenados en un microchip de la tarjeta sin contacto a través de un campo electromagnético, que se transmite entre una antena del dispositivo de lectura/escritura y una antena de la tarjeta sin contacto.

15 La calidad y comportamiento de las tarjetas sin contacto depende de los parámetros eléctricos de las tarjetas sin contacto. Los parámetros eléctricos importantes incluyen, por ejemplo, la inductancia de la antena de la tarjeta sin contacto. La inductancia de la antena determina la frecuencia de resonancia de operación de una tarjeta sin contacto, que se requiere que esté suficientemente próxima a la frecuencia portadora del sistema RFID.

20 Para medir los parámetros eléctricos de una tarjeta sin contacto, por ejemplo la inductancia de la antena, es necesario que los componentes eléctricos de las tarjetas estén conectados eléctricamente al equipo de medición. Para determinar muchos parámetros eléctricos, la tarjeta sin contacto necesita ser abierta con cuidado para conectarla eléctricamente al equipo de medición. Después de la apertura de la tarjeta sin contacto, la tarjeta normalmente se destruye. En consecuencia, después de la medición de los parámetros eléctricos de la tarjeta sin contacto, la tarjeta sin contacto ya no puede usarse más. La determinación de los parámetros eléctricos es relativamente lenta, dado que la tarjeta sin contacto ha de ser abierta cuidadosamente.

25 El documento WO 2005/086279 desvela la medición de un parámetro característico de una estructura resonante. La estructura resonante se coloca en una localización en el campo lejano de una primera y segunda antenas. Las ondas electromagnéticas se emiten con diferentes frecuencias por medio de la primera antena. La estructura resonante modifica las ondas electromagnéticas. Durante una primera etapa, se determina un primer valor de potencia eléctrica que es representativo de la potencia asociada con las ondas electromagnéticas emitidas. Durante una segunda etapa, un segundo valor de potencia eléctrica que es representativo de la potencia asociada con las ondas electromagnéticas modificadas recibidas. Al menos se determina una característica usando el primer y segundo valores de potencia.

Divulgación de la invención

35 Es un objeto de la presente invención proporcionar un aparato y procedimiento de determinación de parámetros eléctricos de un dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto, que no tenga al menos algunas de las desventajas de la técnica anterior. En particular es un objeto de la presente invención proporcionar un aparato y procedimiento de determinación de parámetros eléctricos en un dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto, de modo que el dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto no necesite ser destruido para medir los parámetros eléctricos. En particular es un objeto de la presente invención proporcionar un aparato y procedimiento de determinación de parámetros eléctricos de un dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto, en el que los parámetros eléctricos se determinen a través de la interacción sin contacto con el dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto. En particular es un objeto de la presente invención proporcionar un aparato y procedimiento de determinación de parámetros eléctricos de un dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto, en el que los parámetros eléctricos se determinen más rápidamente que en la técnica anterior.

45 De acuerdo con la presente invención, estos objetos se consiguen a través de las características de las reivindicaciones independientes. Además, se deducen realizaciones ventajosas de las reivindicaciones dependientes y de la descripción.

50 De acuerdo con la presente invención, un aparato de determinación de uno o más parámetros eléctricos de un dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto comprenden: un analizador de impedancia configurado para medir datos de impedancia de una sonda de captación que interactúa a través de un campo electromagnético con el dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto y para determinar los datos de impedancia medidos en función de al menos una de entre: frecuencia, corriente y tensión; una unidad simuladora configurada para determinar los datos de impedancia calculados de un modelo computarizado de la sonda de captación que interactúa a través de un campo electromagnético modelizado con un modelo computarizado del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto, determinándose los datos de impedancia calculados en función de uno o más parámetros eléctricos del modelo computarizado del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto y en función de al menos una de entre: frecuencia, corriente y tensión; un generador de función configurado para generar una función objetivo usando

los datos de impedancia medidos y usando los datos de impedancia calculados; y una unidad optimizadora configurada para determinar una solución óptima para la función objetivo y para usar la solución óptima para calcular el uno o más parámetros eléctricos del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto. En consecuencia, el dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto solo se requiere que esté en interacción con la sonda de captación a través del campo electromagnético. No se requiere abrir o destruir el dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto para determinar los parámetros eléctricos. Por ello, tras la determinación de los parámetros eléctricos de un dispositivo de almacenamiento sin contacto, el dispositivo de almacenamiento sin contacto puede aún ser usado. Más aún, para determinar el uno o más parámetros eléctricos del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto, no tiene que ser conocida la geometría de la antena incluida en el dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto.

En una realización, la unidad simuladora incluye un almacén de datos configurado para almacenar uno o más conjuntos de datos de impedancia ejemplares de uno o más microchips ejemplares de dispositivos de almacenamiento de datos sin contacto, almacenándose un conjunto de datos de impedancia ejemplares como una función de al menos una de entre: frecuencia, corriente y tensión; y, dependiendo del microchip incluido en el dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto, se usa uno de los conjuntos de datos de impedancia ejemplares almacenados para calcular los datos de impedancia del modelo computarizado de la sonda de captación. En particular, se usan ciertos tipos de microchips en los dispositivos de almacenamiento de datos sin contacto. Cada tipo tiene parámetros eléctricos específicos. Sin embargo, los microchips del mismo tipo tienen parámetros eléctricos muy similares. Por ello, como el conjunto de datos de impedancia ejemplares de un microchip está suficientemente próximo a la impedancia de cualquier microchip del mismo tipo, puede describirse un modelo computarizado del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto que comprende un microchip de un cierto tipo con suficiente precisión basándose en un conjunto de datos de impedancia ejemplares de un microchip ejemplar.

En una realización, la unidad simuladora incluye una o más unidades de aproximación configurada cada una para aproximar un parámetro eléctrico del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto, dependiendo el parámetro eléctrico aproximado de uno o más parámetros eléctricos del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto. La aproximación puede incluir un modelo analítico de los parámetros eléctricos del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto. Dependiendo de la complejidad del modelo usado para el modelado del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto, la unidad optimizadora necesita resolver un problema de optimización para un número considerable de parámetros eléctricos del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto. Por medio de las una o más unidades de aproximación, puede reducirse la complejidad del problema de optimización, en el que los parámetros eléctricos particulares de los dispositivos de almacenamiento de datos sin contacto pueden determinarse más rápidamente.

En una realización, el generador de función está configurado para generar la función objetivo usando solo la parte imaginaria de los datos de impedancia medidos y la parte imaginaria de los datos de impedancia calculados. Se mejora de ese modo la precisión de los parámetros eléctricos determinados debido a que la parte real de la impedancia de la bobina de captación usada para medir los datos de impedancia es más proclive a una dispersión estadística de lo que lo es la parte imaginaria, que se comporta casi como una inductancia ideal.

En una realización, la unidad optimizadora está configurada para determinar el uno o más parámetros eléctricos del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto con una precisión que depende de uno o más parámetros del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto, en particular de uno o más parámetros de un microchip del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto.

En una realización, el aparato comprende además un calculador de calidad de sintonía configurado para usar el uno o más parámetros eléctricos del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto para calcular una calidad de sintonía del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto. Tras la determinación de los parámetros eléctricos de un dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto, está fácilmente disponible la calidad de sintonía del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto.

En una realización, el aparato comprende además un calculador de intensidad de campo de operación requerido configurado para usar el uno o más parámetros eléctricos determinados del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto para calcular una intensidad de campo H_{op} de operación mínima requerida del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto. Tras la determinación de los parámetros eléctricos del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto, está fácilmente disponible la intensidad del campo de operación requerida del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto.

En una realización, el aparato comprende además un amplificador de mapeado de impedancia configurado para amplificar la tensión de salida de un analizador de impedancia de modo que la impedancia de un microchip ejemplar se mida por el analizador de impedancia a tensiones más altas que las proporcionadas por el analizador de impedancia, en el que en particular el amplificador de mapeado de impedancia está configurado para amplificar una tensión de entrada U_{in} al amplificador de mapeado de impedancia mediante un factor complejo μ a una tensión de salida $U_{salida} = \mu U_{in}$ y para amplificar una corriente de entrada I_{in} al amplificador de mapeado de impedancia mediante un factor complejo λ a la corriente de salida $I_{salida} = \lambda I_{in}$, en las que preferentemente $\mu/\lambda = 1$. En una variante, la impedancia del microchip ejemplar se ha de medir como una tensión de hasta 5 V rms. Sin embargo, los

analizadores de impedancia disponibles funcionan con tensiones de salida de 1 V rms como máximo. A través del amplificador de mapeado de impedancia, el microchip ejemplar puede medirse a tensiones más altas que las tensiones proporcionadas por los analizadores de impedancia disponibles comercialmente.

5 Además de un aparato, la invención se refiere a un procedimiento de determinación de los parámetros eléctricos de un dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto. El procedimiento comprende: medir datos de impedancia de una sonda de captación que interactúa a través de un campo electromagnético con el dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto y determinar los datos de impedancia medidos en función de al menos una de entre: frecuencia, corriente y tensión; calcular los datos de impedancia de un modelo computarizado de la sonda de captación que interactúa a través de un campo electromagnético modelizado con un modelo computarizado del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto, en el que los datos de impedancia calculados se determinan en función de uno o más parámetros eléctricos del modelo computarizado del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto y en función de al menos una de entre: frecuencia, corriente y tensión; generar una función objetivo usando los datos de impedancia medidos y usando los datos de impedancia calculados; y calcular una solución óptima para la función objetivo y usando la solución óptima determinar el uno o más parámetros eléctricos del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto.

10 En una variante, el procedimiento comprende además: el almacenamiento en un almacén de datos de uno o más conjuntos de datos de impedancia ejemplares de uno o más microchips ejemplares de dispositivos de almacenamiento de datos sin contacto, almacenándose una impedancia ejemplar en función de al menos una de entre: frecuencia, corriente y tensión; y, dependiendo del microchip incluido en el dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto, el uso de uno de los conjuntos de datos de impedancia ejemplares almacenados para calcular los datos de impedancia del modelo computarizado de la sonda de captación.

15 En una variante, el procedimiento comprende además: la aproximación de un parámetro eléctrico del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto, dependiendo el parámetro eléctrico aproximado de uno o más parámetros eléctricos del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto.

20 En una variante, la generación de la función objetivo se realiza usando la parte imaginaria de los datos de impedancia medidos y la parte imaginaria de los datos de impedancia calculados.

25 En una variante, se determinan uno o más parámetros eléctricos del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto con una precisión que depende del uno o más parámetros del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto, en particular de uno o más parámetros de un microchip del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto.

30 En una variante, el procedimiento comprende además: el uso de uno o más parámetros eléctricos del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto para calcular una calidad de sintonía del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto.

35 En una variante, el procedimiento comprende además: el uso de uno o más parámetros eléctricos del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto para calcular una intensidad de campo H_{op} de operación mínima requerida del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto.

40 Además de a un aparato y a un procedimiento de determinación de los parámetros eléctricos de una tarjeta sin contacto, la invención se refiere a un producto de programa informático que comprende un medio legible por ordenador que tiene almacenados en él códigos de programa informático para el control de uno o más procesadores de un aparato de determinación de uno o más parámetros eléctricos de un dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto. El código de programa informático está configurado para dirigir el aparato para: medir los datos de impedancia de una sonda de captación que interactúa a través de un campo electromagnético con el dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto y determinar los datos de impedancia medidos en función de al menos una de entre: frecuencia, corriente y tensión; calcular los datos de impedancia del modelo computarizado de la sonda de captación que interactúa a través de un campo electromagnético modelizado con un modelo computarizado del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto, determinándose los datos de impedancia calculados en función de uno o más parámetros eléctricos del modelo computarizado del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto y en función de al menos una de entre: frecuencia, corriente y tensión; generar una función objetivo usando los datos de impedancia medidos y usando los datos de impedancia calculados; y calcular una solución óptima para la función objetivo y usando la solución óptima determinar el uno o más parámetros eléctricos del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto.

Breve descripción de los dibujos

45 La invención descrita en el presente documento se entenderá más completamente a partir de la descripción detallada dada en el presente documento a continuación y de los dibujos adjuntos que no deberían considerarse limitativos de la invención descrita en las reivindicaciones adjuntas. Los dibujos muestran:

La Fig. 1a esquemáticamente una sonda de captación conectada a un analizador de impedancia;

- la Fig. 1b esquemáticamente un dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto;
- la Fig. 1c esquemáticamente un aparato de determinación de los parámetros eléctricos de un dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto;
- 5 la Fig. 2 un ejemplo de la medición de la impedancia de la sonda de captación que está en interacción con la tarjeta sin contacto a través de un campo electromagnético;
- la Fig. 3 el circuito equivalente de una sonda de captación que está en interacción con un dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto a través de un campo electromagnético;
- la Fig. 4 el circuito equivalente de un amplificador de mapeado de impedancia configurado para amplificar la tensión de salida de un analizador de impedancia y para medir la impedancia de un microchip a tensiones más altas;
- 10 la Fig. 5 una medición de ejemplo de la parte real de la impedancia de un microchip para varias corrientes y frecuencias;
- la Fig. 6 una medición de ejemplo de la parte imaginaria de la impedancia de un microchip para varias corrientes y frecuencias; y
- 15 la Fig. 7 una secuencia ejemplar de etapas de determinación de uno o más parámetros eléctricos de un dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto.

Modo(s) para llevar a cabo la invención

La Figura 1a muestra esquemáticamente una sonda 2 de captación conectada a un analizador 4 de impedancia. Por ejemplo, la sonda 2 de captación incluye una bobina de calibración ISO (ISO: "International Organization for Standardization"). Por ejemplo, el analizador 4 de impedancia incluye equipos disponibles comercialmente. La sonda 2 de captación incluye una antena 21 de sonda y un conector 22 de sonda para la conexión de la antena de la sonda 2 al analizador 4 de impedancia. Por ejemplo, la sonda 2 de captación incluye una tarjeta de circuito impreso. La antena 21 de la sonda incluye una bobina de uno o más devanados.

20

La Figura 1b muestra esquemáticamente un dispositivo 3 de almacenamiento de datos sin contacto. El dispositivo 3 de almacenamiento de datos sin contacto, de aquí en adelante denominado como "tarjeta sin contacto", incluye una antena 31 de tarjeta para acoplamiento inductivo con un dispositivo de lectura/escritura. La antena 31 de tarjeta incluye una bobina de uno o más devanados y se conecta a un microchip 32 de la tarjeta, que incluye un almacén de datos que contiene los datos almacenados, por ejemplo datos de identificación del producto o datos de identificación del usuario. Por ejemplo, la tarjeta 3 sin contacto es una etiqueta RFID o un transpondedor RFID, implementado en la forma de una etiqueta, tarjeta (inteligente), pulsera, etiqueta de llave, etc. Por ejemplo, la tarjeta 3 sin contacto está configurada para interactuar con un lector/escritor a través de un protocolo RFID normalizado tal como se define en normas tales como ISO 18092, ISO 15693 o ISO 14443. Por ejemplo, la tarjeta 3 sin contacto está configurada para recibir pulsos del campo electromagnético que tienen una frecuencia portadora en el intervalo de 100 kHz a 2,5 GHz. Particularmente, la frecuencia portadora se fija a la frecuencia de trabajo de un sistema RFID, por ejemplo 6,78 MHz, 13,56 MHz o 27,12 MHz (u otro múltiplo de 13,56 MHz).

25

30

35

La Figura 1c muestra esquemáticamente un aparato 1 de determinación de los parámetros eléctricos de una tarjeta 3 sin contacto. El aparato 1 incluye una sonda 2 de captación, un analizador 4 de impedancia, una unidad 51 simuladora, un generador 52 de función y una unidad 52 optimizadora.

Como se ha ilustrado esquemáticamente en la Figura 1c, la sonda de captación 2 está configurada para interactuar con el dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto 3 en particular a través de un campo electromagnético, concretamente a través de un campo electromagnético entre la antena 21 de sonda de la sonda 2 de captación y la antena 31 de tarjeta de la tarjeta 3 sin contacto. Por ejemplo, como se muestra esquemáticamente en la Figura 1c, la tarjeta 3 sin contacto se dispone sobre la sonda 2 de captación para proporcionar la interacción entre la sonda 2 de captación y la tarjeta 3 sin contacto. La antena 21 de la sonda y la antena 31 de la tarjeta se disponen a una distancia que esté suficientemente próxima de modo que se permita la interacción a través de un campo electromagnético entre la sonda 2 de captación y la tarjeta 3 sin contacto.

40

45

En una variante, que se refiere a la Figura 1a, se realiza una calibración breve, en la que el analizador 4 de impedancia se conecta a la sonda 2 de captación, pero sin disponer una tarjeta 3 sin contacto sobre la sonda 2 de captación. La calibración se realiza para compensar la parte dominante de la impedancia medida, que se origina a partir de la inductancia L, de la sonda 2 de captación y genera una línea inclinada tanto en la parte real como en la parte imaginaria de la respuesta en frecuencia de la impedancia medida. En una variante, la unidad 51 simuladora está configurada para almacenar datos de calibración de acuerdo con la calibración breve.

50

La sonda 2 de captación y la tarjeta 3 sin contacto se disponen juntas próximas, lo que asegura un elevado acoplamiento magnético entre la antena 21 de la sonda y la antena 31 de la tarjeta. Esto implica que además del

acoplamiento magnético, se debe tener asimismo en consideración un acoplamiento capacitivo entre la antena 21 de la sonda y la antena 31 de la tarjeta.

El analizador 4 de impedancia está configurado para medir la impedancia de la sonda 2 de captación, en el que se realizan barridos de frecuencia y barridos de tensión. Por ejemplo, se miden 201 frecuencias en el intervalo de 10 MHz a 20 MHz y se miden 21 tensiones. En una variante, se miden cualquier otro número de frecuencias y/o tensiones. En una variante, el número de tensiones medidas es relativamente pequeño con respecto al número de frecuencias medidas, por ejemplo con un factor de diez o más pequeño o cualquier otro factor. En una variante, el número de tensiones medidas depende del tipo de microchip 32 de tarjeta de la tarjeta 3 sin contacto.

La Figura 2 muestra un ejemplo de la medición de la impedancia de la sonda 2 de captación que está en interacción con la tarjeta 3 sin contacto a través de un campo electromagnético. En la figura 2, la parte real de los datos de impedancia medidos de la sonda 2 de captación que tiene una tarjeta 3 sin contacto sobre ella se muestran en función de la frecuencia y corriente. Es visible que la frecuencia de resonancia disminuye con el incremento de la corriente, en el que la resonancia se amortigua más y más, y, como resultado de la no linealidad del microchip 32 de tarjeta de la tarjeta 3 sin contacto, la curva de resonancia se convierte en más ancha y más asimétrica, contrariamente a una curva de resonancia típica.

La Figura 3 muestra el circuito equivalente de una sonda 2 de captación que está en interacción con un dispositivo 3 de almacenamiento de datos sin contacto a través de un campo electromagnético. El circuito equivalente se usa como un modelo de la sonda 2 de captación que está en interacción con la tarjeta 3 sin contacto. Como se indica en la Figura 3, se miden la impedancia Z_{IN} de la sonda 2 de captación y de la tarjeta 3 sin contacto, en particular en función de la frecuencia para diferentes tensiones de la fuente del analizador 4 de impedancia. Tal como se muestra esquemáticamente en la Figura 3, el analizador 4 de impedancia se modeliza para incluir una fuente U_s de tensión y una impedancia Z_s de la fuente. U_{IN} es la tensión en los terminales de entrada de la sonda 2 de captación. Z_{IN} es la impedancia de la sonda 2 de captación con una tarjeta 3 sin contacto dispuesta sobre ella. Z_R es la impedancia restante de la sonda 2 de captación tras deducir su inductancia L_1 (véase la descripción a continuación). Z_R depende de la capacidad C_1 y de la resistencia R_1 de la sonda 2 de captación. M es la inductancia mutua entre la antena 21 de sonda de la sonda 2 de captación y la antena 31 de tarjeta de la tarjeta 3 sin contacto. C_c es la capacidad de acoplamiento entre la antena 21 de la sonda y la antena 31 de la tarjeta. En particular, L_2 , C_2 y R_2 son parámetros eléctricos de interés de la tarjeta 3 sin contacto, concretamente la inductancia, la capacidad y la resistencia de la antena 31 de tarjeta de la tarjeta 3 sin contacto. Z_{chip} es la impedancia del microchip 32 de tarjeta de la tarjeta 3 sin contacto.

La impedancia Z_{IN} depende grandemente de la impedancia de la sonda 2 de captación, debido a que la medición se realiza usando una conexión directa con el conector 22 de sonda de la sonda 2 de captación, y debido a que el acoplamiento entre la sonda 2 de captación y la tarjeta 3 sin contacto se establece solo indirectamente a través del campo electromagnético entre la antena 21 de sonda de la sonda 2 de captación y la antena 31 de tarjeta de la tarjeta 3 sin contacto. Por ello, la impedancia de la sonda 2 de captación se ha de determinar tan precisamente como sea posible, de modo que pueda usarse un valor preciso de la impedancia en cálculos adicionales. En consecuencia, la calibración breve del analizador 4 de impedancia se ha de establecer tan precisamente como sea posible.

Normalmente, el circuito equivalente con una inductancia L_1 , una capacidad en paralelo C_1 y una resistencia en paralelo R_1 no es suficiente, debido a que en realidad la resistencia R no es constante, sino que depende de la frecuencia. Por lo tanto, la impedancia precisa de la sonda 2 de captación en solitario, que se indica por Z_{calib} , se mide con el analizador de impedancia en función de la frecuencia f . La parte real se ajusta usando un polinomio de primer orden, que tiene coeficientes a y b , la parte imaginaria se determina usando el circuito paralelo que comprende la inductancia L_1 y la capacidad C_1 . En lo que sigue, f indica la frecuencia y ω indica la frecuencia angular $2\pi f$.

$$Z_{calib} = a \cdot f + b - \frac{i}{\omega C_1 - \frac{1}{\omega L_1}} \quad (1)$$

Como se muestra en la Figura 3, la inductancia L_1 se considera por separado en el circuito equivalente. En consecuencia, se deduce la inductancia para determinar la impedancia Z_R sin la inductancia L_1 .

$$Z_R = \frac{1}{\frac{1}{Z_{calib}} - \frac{1}{i\omega L_1}} \quad (2)$$

La impedancia Z_R ha de determinarse solamente una vez y se usa a continuación en consecuencia en el circuito equivalente.

5 Z_{IN} se mide con la tarjeta 3 sin contacto dispuesta sobre la sonda 2 de captación para varias frecuencias y tensiones U_s de la fuente y se define un problema de optimización para los cinco parámetros eléctricos desconocidos L_2 , C_2 , R_2 , M y C_c . Para acelerar el problema de optimización, el número de parámetros eléctricos a ser determinados puede reducirse de cinco a dos usando fórmulas analíticas, de modo que solo permanecen L_2 y M como parámetros eléctricos que han de ser determinados. Particularmente, pueden calcularse C_2 , R_2 y C_c dependiendo de L_2 y M en una buena aproximación tal como sigue.

Se determina C_2 usando la frecuencia f_{nop} de resonancia no operativa medida.

$$C_2 = \frac{1}{4\pi^2 f_{nop}^2 L_2} - C_{nop} \quad (3)$$

10 La frecuencia f_{nop} de resonancia no operativa de la tarjeta 3 sin contacto se debe determinar con un acoplamiento débil y una tensión de fuente muy baja desde el analizador de impedancia, de modo que esencialmente no se aplique tensión al microchip 32 de la tarjeta. Por ejemplo, la sonda 2 de captación y la tarjeta 3 sin contacto se disponen a una distancia de aproximadamente 30 mm y el analizador 4 de impedancia se ajusta a una tensión U_s de origen de 5 mV rms. En este caso, la capacidad C_c de acoplamiento puede despreciarse y no ha de ser tenida en cuenta en la ecuación anterior. C_{nop} es la capacidad no operativa equivalente del microchip 32 de la tarjeta medido
15 con una tensión de 5 mV rms y a una frecuencia de resonancia f_{nop} no operativa.

La capacidad de acoplamiento C_c entre la sonda 2 de captación y la tarjeta 3 sin contacto puede determinarse aproximadamente suponiendo que la capacidad C_c de acoplamiento está en paralelo con la capacidad C_2 .

$$C_c = \frac{1}{4\pi^2 f_{nop_Calib}^2 L_2} - (C_2 + C_{nop}) \quad (4)$$

20 f_{nop_Calib} es la frecuencia de resonancia no operativa de la tarjeta 3 sin contacto medida usando la sonda 2 de captación en la disposición tal como se muestra en la Figura 1c, es decir en la que la tarjeta 3 sin contacto se dispone sobre la sonda 2 de captación con prácticamente ninguna distancia entre la sonda 2 de captación y la tarjeta 3 sin contacto, usando una tensión U_s de fuente del analizador 4 de impedancia de 5 mV rms. Debido al fuerte acoplamiento, la frecuencia f_{nop_Calib} de resonancia no operativa es ligeramente más pequeña que la frecuencia f_{nop} de resonancia no operativa en caso de un acoplamiento débil.

25 La resistencia R_{2tot} total de la tarjeta 3 sin contacto que incluye el microchip 32 de la tarjeta se calcula por medio del factor de calidad Q_{nop_Calib} no operativo medido usando la relación conocida para un resonador en paralelo.

$$R_{2tot} = Q_{nop_Calib} \cdot \sqrt{\frac{L_2}{C_2 + C_{nop}}} \quad (5)$$

30 Q_{nop_Calib} es el factor de calidad no operativo de la tarjeta 3 sin contacto medido con la sonda 2 de captación usando una tensión de fuente del analizador 4 de impedancia de 5 mV rms en la disposición de acuerdo con la Figura 1c, es decir en la que la tarjeta 3 sin contacto se dispone sobre la sonda 2 de captación sin prácticamente ninguna distancia entre la sonda 2 de captación y la tarjeta 3 sin contacto.

La resistencia R_{nop} equivalente paralela del microchip 32 de la tarjeta medida a 5 mV rms y la frecuencia f_{nop} de resonancia no operativa pueden usarse para determinar un valor estimado para la resistencia R_2 , que se indica por R_{2est} .

$$35 \quad R_{2est} = \frac{R_{2tot} \cdot R_{nop}}{R_{nop} - R_{2tot}} \quad (6)$$

Usando la resistencia R_{2est} estimada, puede calcularse la resistencia R_2 exacta de la tarjeta 3 sin contacto, en la que se tiene cuenta el acoplamiento entre ambos circuitos de resonancia. La fórmula se determina usando una determinación analítica de la impedancia de dos circuitos en resonancia acoplados tal como sigue.

$$R_2 = R_{2est} \cdot \left(1 + \left(\frac{M}{L_2 C_2} \right)^2 \cdot \left(\frac{C_1}{R_{2est}} + \frac{C_2}{R_1} \right) \right) \cdot \left(\frac{C_1}{R_{2est}} + \frac{C_2}{R_1} \right) \quad (7)$$

40 Tal como se indica a continuación, γ_2 es el factor de amortiguación conocido de la fórmula de resonancia del segundo circuito de resonancia, en el que la resistencia R_{2est} estimada se ha de usar como el valor de la resistencia R_2 que no es conocido antes de la evaluación de la ecuación (7).

$$V_2 = \frac{1}{R_{2est} C_2} \quad (8)$$

En principio, puede realizarse la iteración de las ecuaciones (7) y (8) para incrementar la precisión.

5 Usando el analizador de impedancia, se realizan mediciones $Z_{IN}(l, f)$ de la impedancia de entrada de la sonda 2 de captación con la tarjeta 3 sin contacto dispuesta. Las mediciones $Z_{IN}(l, f)$ de la impedancia de entrada dependen de la corriente y la frecuencia. Se ha de resolver un problema de optimización global para determinar los parámetros eléctricos L_2, C_2, R_2, M y C_c de la tarjeta 3 sin contacto. En consecuencia, se define un modelo matemático para las mediciones $Z_{IN}(l, f)$ de la impedancia de entrada usando la característica no lineal de la impedancia $Z_{chip}(l, f)$ del microchip 32 de la tarjeta. Usando el modelo matemático, se varían los parámetros eléctricos L_2, C_2, R_2, M y C_c de la tarjeta 3 sin contacto hasta que son mínimas las diferencias cuadráticas entre el modelo computarizado y la medición.

10 Como tarjeta sin contacto, existen varios tipos de microchip 32 de tarjeta. Para cada tipo, se determina la impedancia $Z_{chip}(l, f)$ de un microchip 32 de tarjeta ejemplar usando un equipo de medición que se describirá posteriormente en el presente documento, en el que para cualquier tarjeta 3 sin contacto con un cierto tipo de microchip 32 de tarjeta, se usa la impedancia determinada $Z_{chip}(l, f)$ del microchip 32 de tarjeta ejemplar para determinar el modelo computarizado de la impedancia $Z_{IN}(l, f)$ de entrada de la sonda 2 de captación que tiene una tarjeta 3 sin contacto dispuesta sobre ella.

15 Usando las ecuaciones analíticas (3), (4) y (7), las dimensiones del problema de optimización se reducen desde los cinco parámetros eléctricos L_2, C_2, R_2, M y C_c a los dos parámetros eléctricos L_2 y M , cuando mediante las ecuaciones analíticas los parámetros eléctricos C_2, R_2 y C_c se expresan usando los parámetros eléctricos L_2 y M . Mediante la reducción de las dimensiones y mediante una partición secuencial de intervalos bidimensionales de L_2 y M , la solución al problema de optimización puede determinarse en breve tiempo, por ejemplo usando un PC estándar ejecutando la aplicación de simulación MATLAB.

20 Aquellos valores de L_2 y M en los que la diferencia de la superficie de la parte imaginaria de la impedancia $Z_{IN}(l, f)$ de entrada calculada y la impedancia de entrada medida es mínima representan la solución del problema de optimización. Usando esta solución, pueden determinarse los restantes parámetros eléctricos C_2, R_2 y C_c de la tarjeta 3 sin contacto usando las ecuaciones analíticas (3), (4) y (7).

25 Para conseguir la precisión mejor posible, solo se usa la parte imaginaria de la superficie de la impedancia para calcular restos, debido a que la parte imaginaria se repite mejor que la parte real. Cualquier procedimiento que proporcione la reducción del valor mínimo de los restos proporciona una estabilidad mejor al procedimiento de optimización y mejoras con relación a la precisión.

30 Usando los parámetros eléctricos de la tarjeta 3 sin contacto, puede determinarse la frecuencia f_{op} de resonancia de operación, que es la frecuencia de resonancia que se obtiene cuando el microchip 32 de la tarjeta recibe la tensión U_{op} mínima requerida para la operación. La diferencia de la frecuencia f_{op} de resonancia de operación a la frecuencia f_0 de la portadora, por ejemplo 13,56 MHz, es una medida de la calidad de sintonía de la tarjeta 3 sin contacto.

35 Alternativamente, la frecuencia f_{nop} de resonancia no operativa, que es la frecuencia de resonancia obtenida cuando el microchip 32 de la tarjeta no recibe prácticamente tensión, puede determinarse y usarse como una medida de la calidad de sintonía de la tarjeta 3 sin contacto. La frecuencia f_{nop} de resonancia no operativa es mucho más fácil de medir que la frecuencia f_{op} de resonancia de operación. Sin embargo, una frecuencia f_{nop_opt} de resonancia no operativa óptima no es justamente igual a la frecuencia f_0 portadora, por ejemplo 13,56 MHz. Por el contrario, la frecuencia f_{nop_opt} de resonancia no operativa óptima depende de los valores de la inductancia L_2 y la capacidad del microchip determinados para tensiones desde 0 V a U_{op} .

40 En cualquier caso, se requiere la inductancia L_2 de la antena de la tarjeta 3 sin contacto para determinar la calidad de sintonía de la tarjeta 3 sin contacto, tanto para determinar la frecuencia f_{op} de resonancia de operación como, en caso de que la calidad de sintonía se evalúe por medio de la frecuencia f_{nop} de resonancia no operativa, debido a que la frecuencia f_{nop_opt} de resonancia no operativa óptima depende de la inductancia L_2 . La relación entre la frecuencia f_{nop_opt} de resonancia no operativa óptima y la inductancia L_2 se da con una buena aproximación de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$f_{nop_opt} \approx f_0 \left(1 + \frac{1}{2} \omega_0^2 \cdot \Delta C \cdot L_2 \right) \quad (9)$$

45 en la que ω_0 es la frecuencia angular que corresponde a la frecuencia f_0 portadora y ΔC es la elevación de capacidad en el microchip 32 de la tarjeta cuando se incrementa la tensión desde 0 V a U_{op} :

$$\Delta C = C_{op} - C_{nop} \quad (10)$$

C_{op} es la capacidad operativa del microchip 32 de la tarjeta, es decir la capacidad a la tensión U_{op} . La diferencia de la frecuencia f_{nop} de resonancia no operativa a su frecuencia f_{nop_opt} de resonancia no operativa óptima es la medición de la calidad de sintonía de la tarjeta 3 sin contacto. Si la frecuencia f_{nop} de resonancia no operativa es igual a la frecuencia f_{nop_opt} de resonancia no operativa óptima tal como se define en la ecuación (9), entonces se garantiza que la frecuencia f_{op} de resonancia de operación igualará automáticamente la frecuencia f_0 portadora, por ejemplo, 13,56 MHz.

Después de determinar la inductancia L_2 , la capacidad C_2 y la resistencia R_2 en particular de la antena 31 de la tarjeta 3 sin contacto, puede determinarse la intensidad de campo H_{op} requerida para operar la tarjeta 3 sin contacto. Para esta finalidad, se dispone la tarjeta 3 sin contacto a una distancia de aproximadamente 25 mm a 30 mm desde la sonda 2 de captación. Las no homogeneidades axiales del campo electromagnético de la sonda 2 de captación tal como se muestra en la Figura 1c, por ejemplo, son relativamente grandes, de modo que pequeños cambios en la distancia entre las antenas cambian fuertemente la intensidad de campo. Con una distancia de aproximadamente 25 mm a 30 mm, las no homogeneidades axiales del campo electromagnético se elevan a aproximadamente 5 % - 10 %, que son suficientemente pequeñas con respecto a la imprecisión en la distancia entre las antenas de la sonda 2 de captación y de la tarjeta 3 sin contacto. Más aún, en caso de una distancia de aproximadamente 25 mm a 30 mm entre las antenas, la capacidad entre las antenas puede despreciarse.

Usando mediciones de la impedancia de la sonda 2 de captación y un procedimiento de optimización tal como se ha descrito anteriormente, puede determinarse la inductancia mutua M entre la sonda 2 de captación y la tarjeta 3 sin contacto dispuestas a una distancia de aproximadamente 25 mm a 30 mm. Posteriormente, se dispone un modelo computarizado preciso de la disposición y mediante simulación puede incrementarse la tensión de origen del analizador de impedancia hasta que la tensión simulada sobre el microchip de la tarjeta 3 sin contacto haya alcanzado la tensión U_{op} de operación mínima. Usando la geometría de la antena 21 de la sonda de la bobina 1 de captación y la corriente I_1 que circula en la antena 21 de la sonda, puede calcularse la intensidad de campo media a una distancia particular desde la sonda 2 de captación, que es la intensidad de campo H_{op} de operación mínima requerida de la tarjeta 3 sin contacto. La geometría de la antena de la tarjeta 3 sin contacto no tiene que ser conocida para determinar la intensidad de campo H_{op} de operación mínima de la tarjeta 3 sin contacto.

La calidad de sintonía de la tarjeta 3 sin contacto se ha de determinar con suficiente precisión. En una variante, la calidad de sintonía debería determinarse de modo que la distancia de operación de la tarjeta 3 sin contacto se determine con un error del 10 %. La distancia de operación se define como la distancia entre la sonda 2 de captación y la tarjeta 3 sin contacto que conduce a la tensión U_{op} mínima requerida del microchip 32 de tarjeta. Para conseguir el error de la distancia de operación suficientemente pequeño, el error de la determinación de las frecuencias f_{op} , f_{nop_opt} y la inductancia L_2 ha de ser suficientemente pequeño. La precisión requerida en la determinación de la inductancia L_2 depende del tipo de microchip implicado. Por ejemplo, a partir de una curva que muestra la distancia de operación en función de la falta de sintonía para un tipo de microchip de tarjeta particular, puede estimarse con cuánta precisión debe conocerse la frecuencia f_{nop_opt} de resonancia no operativa óptima para mantener el error en el valor estimado de la distancia de operación por debajo, por ejemplo, del 10 %. Con la ayuda de la ecuación (9) es posible entonces estimar la precisión requerida en L_2 para ese tipo de microchip de tarjeta particular, de modo que el error en la distancia de operación estimada para la tarjeta 3 sin contacto basado en los parámetros eléctricos se encuentra justamente que no supere, por ejemplo, el 10 %.

Con una buena aproximación, el microchip 32 de la tarjeta 3 sin contacto se modeliza como una impedancia controlada por tensión. En una variante, el comportamiento no lineal de la impedancia del microchip 32 se usa en el procedimiento de medición para determinar parámetros eléctricos de una tarjeta 3 sin contacto, por ejemplo para determinar la calidad de sintonía. Para ello, se ha de determinar la impedancia del microchip 32 de la tarjeta 3 sin contacto, por ejemplo de un transpondedor RFID, Z_{chip} . Para tarjetas sin contacto, se usan varios tipos de microchips. En una variante, para cada tipo de microchip se determina la impedancia usando un microchip 32 ejemplar, dado que las variaciones de la impedancia de los microchips de un cierto tipo son pequeñas en comparación con las variaciones entre diferentes tipos de microchip. La impedancia se ha de determinar para varias tensiones de origen en el intervalo de 5 mV rms hasta 5 V rms y para varias frecuencias en el intervalo de 10 MHz hasta 20 MHz. Los analizadores de impedancia conocidos funcionan con una tensión de origen de hasta 1 V rms, que no es suficientemente alta.

La Figura 4 muestra el circuito equivalente de un amplificador 6 de mapeado de impedancia configurado para amplificar la tensión de salida de un analizador de impedancia y para medir la impedancia de un microchip 32 a tensiones más altas. En la Figura 4, la impedancia del microchip se indica por Z_{chip} . Como se muestra esquemáticamente en la Figura 4, el analizador 4 de impedancia incluye una fuente de tensión U_Q y una resistencia R_S de salida, por ejemplo 25 Ω . U_{in} es la tensión efectiva que se genera por el analizador 4 de impedancia en la entrada del amplificador 6 de mapeado de impedancia. La impedancia Z_{chip} del microchip depende de la tensión U_{salida} en la salida del amplificador 6 de mapeado de impedancia. El amplificador de mapeado de impedancia tiene una amplificación compleja, que se indica por μ en la Figura 4, y una resistencia R_i de salida. La tensión U_{in} de entrada se amplifica de acuerdo con la amplificación μ compleja en la tensión U_{salida} de salida. Como se muestra esquemáticamente en la Figura 4, usando la resistencia de derivación R_p , se controla una fuente 61 de corriente del amplificador 6 de mapeado de impedancia, de modo que la corriente en la entrada del amplificador 6 de mapeado de impedancia depende de la corriente I_{salida} en la salida del amplificador 6 de mapeado de impedancia. Z_c indica la

impedancia de salida de la fuente 61 de corriente, que idealmente es infinita, pero realidad es compleja y dependiente de la frecuencia. En una variante, la fuente 61 de corriente es una fuente de corriente bipolar controlada por tensión. λ indica el factor de amplificador de corriente complejo I_{salida}/I_{in} del amplificador 6 de mapeado de impedancia. El analizador de impedancia mide la impedancia U_{in}/I_{in} .

- 5 El amplificador 6 de mapeado de impedancia amplifica primero como un amplificador operacional la tensión U_{in} de entrada, y aplica la tensión U_{salida} de salida al microchip. Se proporciona una realimentación desde la salida del amplificador 6 de mapeado de impedancia a la entrada en base a la fuente 61 de corriente controlada en tensión. La tensión U_{salida} de salida se amplifica mediante un factor $\mu = U_{salida}/U_{in}$. La corriente I_{salida} de salida se amplifica por un factor $\lambda = I_{salida}/I_{in}$. En caso de que la relación $\kappa = \mu/\lambda$ tenga el valor de 1, la impedancia medida con el analizador de impedancia en la entrada del amplificador 6 de mapeado de impedancia sería exactamente igual a la impedancia del microchip, en el que, dependiendo del factor μ , la tensión aplicada en el microchip es correspondientemente más alta que la tensión proporcionada por el analizador de impedancia. Sin embargo, en la realidad, el valor de la relación κ siempre se desvía de 1, de modo que su valor exacto debe conocerse y tenerse en cuenta en el cálculo de U_{salida} .
- 10
- 15 Mediante una compensación, el analizador de impedancia puede usarse para medir la impedancia Z del microchip también en el caso de que la relación κ no sea igual a 1. La relación κ ha de ser conocida para determinar la tensión U_{salida} de salida del amplificador de mapeado de impedancia. La tensión U_{salida} de salida se determina de acuerdo con la siguiente ecuación, en la que $R_{ip} = R_i + R_p$.

$$U_{salida} = \mu \cdot U_Q \cdot \left| \frac{Z}{R_S \cdot \left(\kappa + \frac{R_{ip} + Z}{Z_C} \right) + R_{ip} + Z} \right| \quad (11)$$

- 20 El factor μ y la relación $\kappa = \mu/\lambda$, que puede ser compleja, pero idealmente es real y tiene el valor de 1, se han de determinar para todo el intervalo de frecuencias, por ejemplo el intervalo de frecuencias 10 MHz - 20 MHz, en el que se usan las impedancias normalizadas, es decir resistencias, condensadores e inductores de propiedades eléctricas exactamente conocidas, y en el que los resultados de la medición se interpolan mediante polinomios de segundo orden, por ejemplo. Es suficiente medir el valor absoluto del factor μ y determinar los valores complejos solamente para la relación κ . Para una impedancia Z conocida, calibrada, es aplicable la siguiente ecuación.
- 25

$$\kappa = (Z + R_{ip}) \cdot \left(\frac{1}{R + iX} - \frac{1}{Z_C} \right) \quad (12)$$

- El término R indica la parte real y el término X la parte imaginaria de la impedancia Z calibrada, que se mide y visualiza mediante el analizador de impedancia. La medición de $R + iX$ se repite para varias impedancias calibradas. De acuerdo con la ecuación (12), la respuesta en frecuencia de la relación κ se determina e interpola para cada impedancia calibrada. Idealmente, la relación κ es independiente de la impedancia calibrada. Sin embargo, en la realidad, está implicada una cierta dispersión estadística, que se promedia, por ejemplo. En un procedimiento análogo, se determina el valor absoluto del factor $|\mu|$.
- 30

- Para ciertos microchips 32, la impedancia Z_{chip} solo puede determinarse en función de la corriente I_{salida} , pero no en función de la tensión U_{salida} . En consecuencia, la impedancia Z_{chip} se determina consistentemente en función de la corriente I_{salida} .
- 35

- La impedancia $Z_{chip}(I, f)$ se determina para cada frecuencia de interés y para un cierto barrido de tensión de U_Q . En una variante, U_Q se fija en 201 valores diferentes y 51 frecuencias en el intervalo de 10 MHz - 20 MHz a una distancia de 200 kHz. Como resultado, se determinan mediciones relativamente toscas de la impedancia Z_{chip} para 201 valores de corriente I y 51 valores de frecuencia f . En una variante, por interpolación, se determina la impedancia Z_{chip} para 1001 valores de corriente I y para 201 valores de frecuencia f .
- 40

La interpolación de la impedancia Z_{chip} es relativamente difícil, principalmente debido a las siguientes razones:

- la impedancia incluye regiones relativamente planas, que bruscamente se rompen en regiones en escalón, en las que incluso funciones spline bidimensionales de mínimos cuadrados no describen suficientemente la impedancia, y
 - los puntos de datos no están en una rejilla regular de corriente y frecuencia, con respecto a una tensión U_Q dada la dependencia en frecuencia de la impedancia conduce a una deformación de la rejilla en la dirección de la corriente, en la que los puntos de datos deben ortogonalizarse antes de la interpolación, o se ha de usar un algoritmo que no requiera una rejilla regular.
- 45

En una variante, la interpolación se realiza usando el algoritmo siguiente. Los puntos de interpolación, es decir los puntos de la rejilla ortogonal corriente/frecuencia para la que se ha de calcular la impedancia en el procedimiento de interpolación, se barren en un doble bucle, concretamente un bucle para el índice de corriente, y un bucle para el índice de frecuencia. En el bucle interior, se calcula el cuadrado de la distancia euclidiana del punto de interpolación real para todos los puntos medidos, es decir para los puntos en la rejilla corriente/frecuencia no ortogonal, distorsionada para la que es conocida la impedancia por medición, y se buscan los índices del punto medido con la mínima distancia al punto de interpolación real.

Se selecciona un número de puntos de interpolación "nfi" por debajo y por encima del punto medido con mínima distancia en la dirección de la frecuencia (es decir en total $2 * nfi + 1$ puntos), y "nli" (es decir en total $2 * nli + 1$ puntos) en la dirección de la corriente, y se recogen en una submatriz de puntos de interpolación que rodean al punto de interpolación real. Dado que "nfi" y "nli" pueden diferir, el efecto de filtrado puede ser anisotrópico. En una variante, se consiguen buenos resultados con $nfi = 3$ y $nli = 10$.

En una variante, se comprueba si existen realmente puntos medidos para los índices resultantes de este procedimiento de selección. Si cualquier índice en los dos vectores de índices construidos tal como se ha descrito anteriormente apuntara a un elemento no existente en la matriz de datos de medición, los índices correspondientes o bien se incrementan o bien se disminuyen de modo que todos los índice resultantes apunten realmente a datos medidos existentes.

A continuación las submatrices de los puntos de interpolación para frecuencia, corriente e impedancia se extraen de las matrices correspondientes de los valores de frecuencia, corriente e impedancia dados por la medición. Las submatrices se transponen y transforman en vectores columnas. Estos vectores se pasan a la función "SurfaceSplineFit", que realiza un ajuste por mínimos cuadrados de una spline bidimensional, es decir una spline bicúbica o spline superficial, de acuerdo con el estado de la técnica. La función se llama por separado para la parte real e imaginaria de la impedancia, junto con la frecuencia y corriente de interpolación real a la que se evaluó la spline en el doble bucle. De ese modo, para cada punto de interpolación, se tiene en cuenta una subsuperficie local de $(2 * nli + 1) * (2 * nfi + 1)$ puntos de interpolación, concretamente $2 * nfi + 1$ puntos horizontalmente en la dirección de la frecuencia, y $2 * nli + 1$ puntos verticalmente la dirección de la corriente. Al final del bucle interior, el único valor de impedancia interpolado se asigna al elemento del bucle real de la matriz final de interpolación de impedancias.

Este algoritmo proporciona interpolación de superficies con cambios de gradiente brusco y pendientes escalonadas, en particular para datos de medición que estén en la forma de una rejilla irregular.

La Figura 5 muestra una medición de ejemplo de la parte real de la impedancia Z_{chip} de un microchip 32 para varias corrientes y frecuencias, en la que la impedancia se ortogonaliza y se interpola tal como se ha descrito anteriormente.

La Figura 6 muestra una medición de ejemplo de la parte imaginaria de la impedancia Z_{chip} de un microchip 32 para varias corrientes y frecuencias, en la que la impedancia se ortogonaliza y se interpola tal como se ha descrito anteriormente.

En una variante, en base a la impedancia $Z_{chip}(l, f)$, se calculan una resistencia en paralelo equivalente, dependiente de corriente y frecuencia y una capacidad en paralelo equivalente, dependiente de corriente y frecuencia.

La Figura 7 muestra esquemáticamente etapas ejemplares de determinación de uno o más parámetros eléctricos de un dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto. En la etapa S1, se miden datos de impedancia de una sonda 2 de captación que interactúa través de un campo electromagnético con el dispositivo 3 de almacenamiento de datos sin contacto y los datos de impedancia medidos se determinan en función de al menos una de entre: frecuencia, corriente y tensión. En la etapa S2, se calculan los datos de impedancia del modelo computarizado de la sonda de captación que interactúa a través de un campo electromagnético modelizado con un modelo computarizado del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto, en el que los datos de impedancia calculados se determinan en función de uno o más parámetros eléctricos del modelo computarizado del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto y en función de al menos una de entre: frecuencia, corriente y tensión. En la etapa S3, se genera una función objetivo usando los datos de impedancia medidos y usando los datos de impedancia calculados correspondientes. En la etapa S4, se determina una solución óptima para la función objetivo y usando la solución óptima se determinan el uno o más parámetros eléctricos del dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto.

Signos de Referencia

- 1 aparato de determinación de parámetros eléctricos de una tarjeta sin contacto
- 2 sonda de captación
- 21 antena de la sonda
- 22 conexión de la sonda
- 3 dispositivo de almacenamiento de datos sin contacto, también llamado "tarjeta sin contacto"
- 31 antena de la tarjeta

- 32 microchip de la tarjeta
- 4 analizador de impedancia
- 51 unidad simuladora
- 52 generador de función
- 5 53 unidad optimizadora
- 6 amplificador de mapeado de impedancia
- 61 fuente de corriente bipolar controlada por tensión

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (1) de determinación de uno o más parámetros eléctricos de un dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto que incluye una antena (31) de tarjeta con una bobina de uno o más devanados conectada a un microchip (32) de tarjeta, comprendiendo el aparato:
 - 5 un analizador (4) de impedancia configurado para medir datos de impedancia de una sonda (2) de captación que interactúa a través de un campo electromagnético con el dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto y para determinar los datos de impedancia medidos como una función de al menos una de entre: frecuencia, corriente y tensión;
 - 10 una unidad (51) simuladora configurada para determinar los datos de impedancia calculados de un modelo computarizado de la sonda (2) de captación que interactúa a través de un campo electromagnético modelizado con un modelo computarizado del dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto, determinándose los datos de impedancia calculados como una función de uno o más parámetros eléctricos del modelo computarizado del dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto y como una función de al menos una de entre: frecuencia, corriente y tensión;
 - 15 un generador (52) de función configurado para generar una función objetivo usando los datos de impedancia medidos y usando los datos de impedancia calculados; y
 - una unidad (53) optimizadora configurada para calcular una solución óptima para la función objetivo y para usar la solución óptima para determinar el uno o más parámetros eléctricos del dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto.
- 20 2. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la unidad (51) simuladora incluye un almacén de datos configurado para almacenar uno o más conjuntos de datos de impedancia ejemplares de uno o más microchips (32) ejemplares de dispositivos de almacenamiento de datos sin contacto, almacenándose un conjunto de datos de impedancia ejemplares como una función de al menos una de entre: frecuencia, corriente y tensión; y, dependiendo del microchip (32) incluido en el dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto, se usa uno de los
 - 25 conjuntos de datos de impedancia ejemplares almacenados para calcular los datos de impedancia del modelo computarizado de la sonda de captación.
3. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1 o 2 en el que la unidad (51) simuladora incluye una o más unidades de aproximación configurada cada una para aproximar un parámetro eléctrico del dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto, dependiendo el parámetro eléctrico aproximado de uno o más parámetros eléctricos del
 - 30 dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto.
4. El aparato de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el generador (52) de función está configurado para generar la función objetivo usando solo la parte imaginaria de los datos de impedancia medidos y la parte imaginaria de los datos de impedancia calculados.
5. El aparato de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la unidad (53) optimizadora está configurada para determinar el uno o más parámetros eléctricos del dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto con una precisión que depende de uno o más parámetros del dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto, en particular de uno o más parámetros de un microchip (32) del dispositivo (3) de almacenamiento de
 - 35 datos sin contacto.
6. El aparato de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende además un calculador de calidad de sintonía configurado para usar el uno o más parámetros eléctricos del dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto para calcular una calidad de sintonía del dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto.
- 40 7. El aparato de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende además un calculador de intensidad de campo de operación requerida configurado para usar el uno o más parámetros eléctricos determinados del dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto para calcular una intensidad de campo H_{op} de operación
 - 45 mínima requerida del dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto.
8. El aparato de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende además un amplificador (6) de mapeado de impedancia configurado para amplificar la tensión de salida de un analizador (4) de impedancia, de modo que el analizador (4) de impedancia mida la impedancia de un microchip (32) ejemplar a tensiones más altas que las proporcionadas por el analizador (4) de impedancia, en el que en particular el amplificador (6) de mapeado de impedancia está configurado para amplificar una tensión U_{in} de entrada al amplificador (6) de mapeado de impedancia por un factor complejo μ a una tensión de salida $U_{salida} = \mu U_{in}$ y para amplificar una corriente de entrada I_{in} al amplificador (6) de mapeado de impedancia por un factor complejo λ a una corriente de salida $I_{salida} = \lambda I_{in}$, en las que preferentemente $\mu/\lambda = 1$.
- 50 9. Un procedimiento de determinación de uno o más parámetros eléctricos de un dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto que incluye una antena (31) de tarjeta con una bobina de uno o más devanados conectada a un microchip (32) de tarjeta, comprendiendo el procedimiento:
 - 55

- medir datos de impedancia de una sonda (2) de captación que interactúa a través de un campo electromagnético con el dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto y determinar los datos de impedancia medidos como una función de al menos una de entre: frecuencia, corriente y tensión;
- 5 calcular los datos de impedancia de un modelo computarizado de la sonda (2) de captación que interactúa a través de un campo electromagnético modelizado con un modelo computarizado del dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto, determinándose los datos de impedancia calculados como una función de uno o más parámetros eléctricos del modelo computarizado del dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto y como una función de al menos una de entre: frecuencia, corriente y tensión;
- 10 generar una función objetivo usando los datos de impedancia medidos y usando los datos de impedancia calculados; y
- calcular una solución óptima para la función objetivo y usando la solución óptima determinar el uno o más parámetros eléctricos del dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto.
10. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, que comprende además: el almacenamiento en un almacén de datos de uno o más conjuntos de datos de impedancia ejemplares de uno o más microchips (32) ejemplares de dispositivos (3) de almacenamiento de datos sin contacto, almacenándose una impedancia ejemplar como una función de al menos una de entre: frecuencia, corriente y tensión; y, dependiendo del microchip (32) incluido en el dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto, el uso de uno de los conjuntos de datos de impedancia ejemplares almacenados para calcular los datos de impedancia del modelo computarizado de la sonda de captación.
- 15 11. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9 o 10, que comprende además: la aproximación de un parámetro eléctrico del dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto, dependiendo el parámetro eléctrico aproximado de uno o más parámetros eléctricos del dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto.
- 20 12. El procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 9 a 11, en el que la generación de la función objetivo se realiza usando solo la parte imaginaria de los datos de impedancia medidos y la parte imaginaria de los datos de impedancia calculados.
- 25 13. El procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 9 a 12, en el que se determinan uno o más parámetros eléctricos del dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto con una precisión que depende de uno o más parámetros del dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto, en particular de uno o más parámetros de un microchip (32) del dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto.
- 30 14. El procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 9 a 13, que comprende además: el uso de uno o más parámetros eléctricos del dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto para calcular una calidad de sintonía del dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto.
15. El procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 9 a 14, que comprende además: el uso de uno o más parámetros eléctricos del dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto para calcular una intensidad de campo H_{op} de operación mínima requerida del dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto.
- 35 16. Producto de programa informático que comprende un medio legible por ordenador que tiene almacenados en el mismo códigos de programa informático para el control de uno o más procesadores de un aparato (1) para la determinación de uno o más parámetros eléctricos de un dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto que incluye una antena (31) de tarjeta con una bobina de uno o más devanados conectados a un microchip (32) de tarjeta, estando configurado el código de programa informático para dirigir el aparato (1) para:
- 40 medir los datos de impedancia de una sonda (2) de captación que interactúa a través de un campo electromagnético con el dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto y determinar los datos de impedancia medidos como una función de al menos una de entre: frecuencia, corriente y tensión;
- 45 calcular los datos de impedancia del modelo computarizado de la sonda (2) de captación que interactúa a través de un campo electromagnético modelizado con un modelo computarizado del dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto, determinándose los datos de impedancia calculados como una función de uno o más parámetros eléctricos del modelo computarizado del dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto y como una función de al menos una de entre: frecuencia, corriente y tensión;
- generar una función objetivo usando los datos de impedancia medidos y usando los datos de impedancia calculados; y
- 50 calcular una solución óptima para la función objetivo y usando la solución óptima, determinar el uno o más parámetros eléctricos del dispositivo (3) de almacenamiento de datos sin contacto.

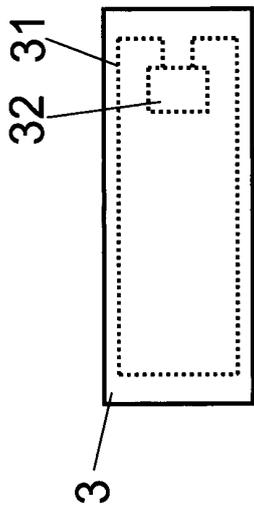
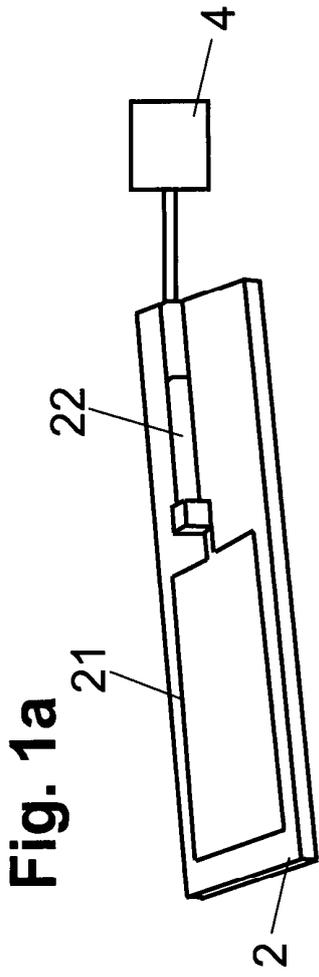


Fig. 1b

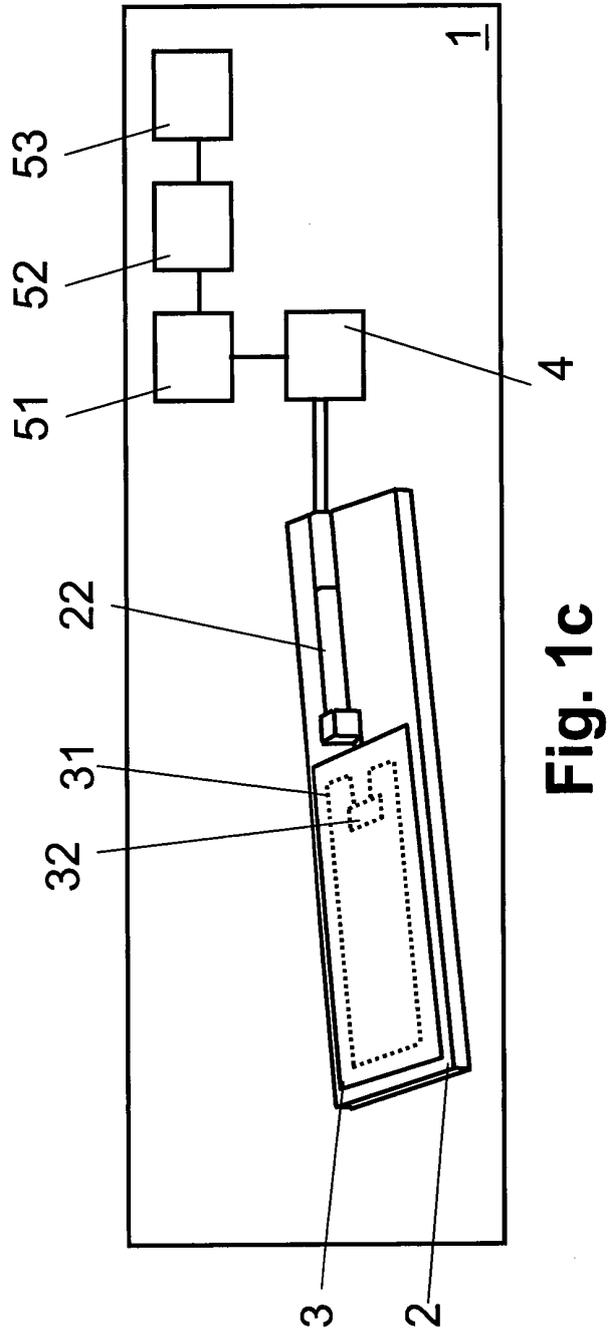


Fig. 1c

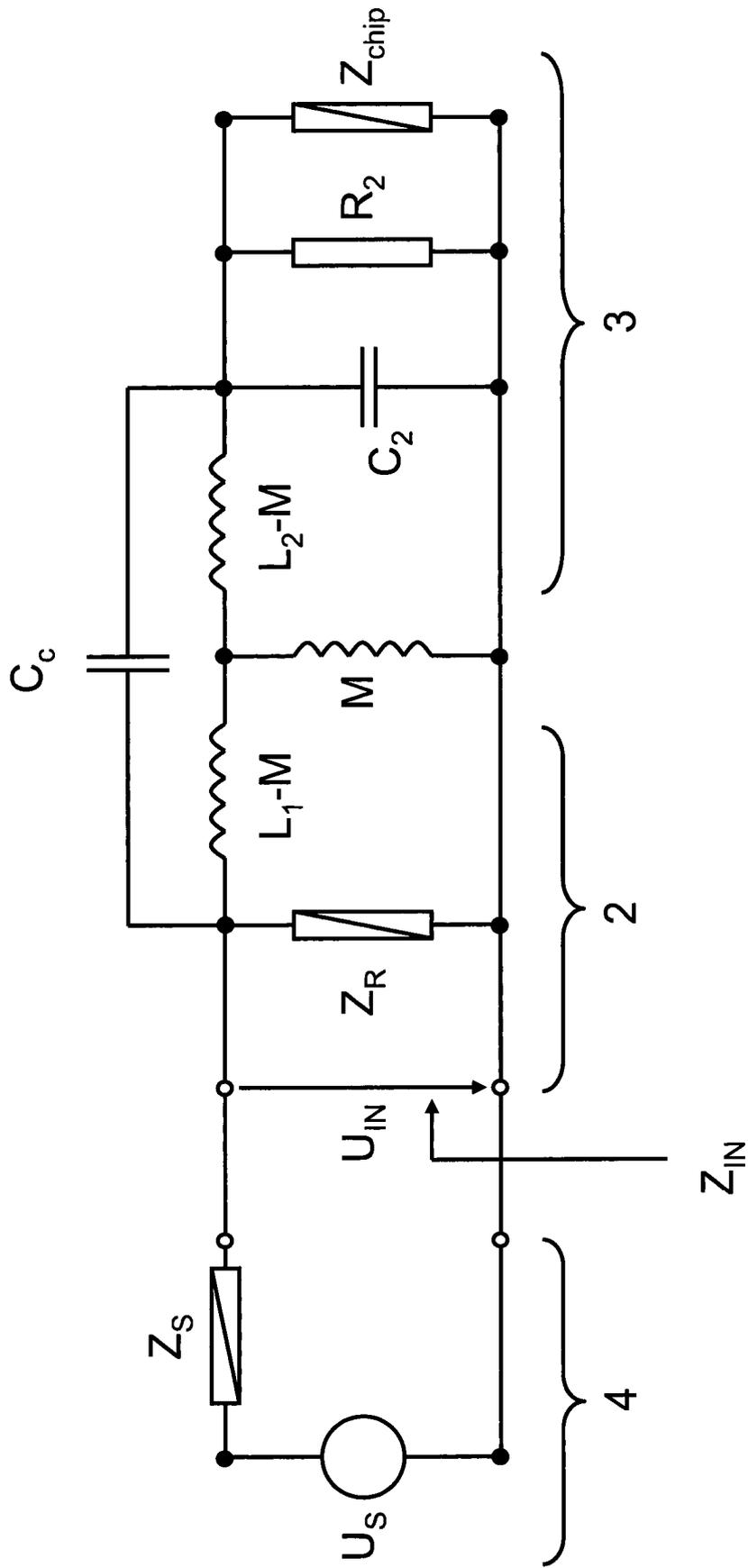


Fig. 3

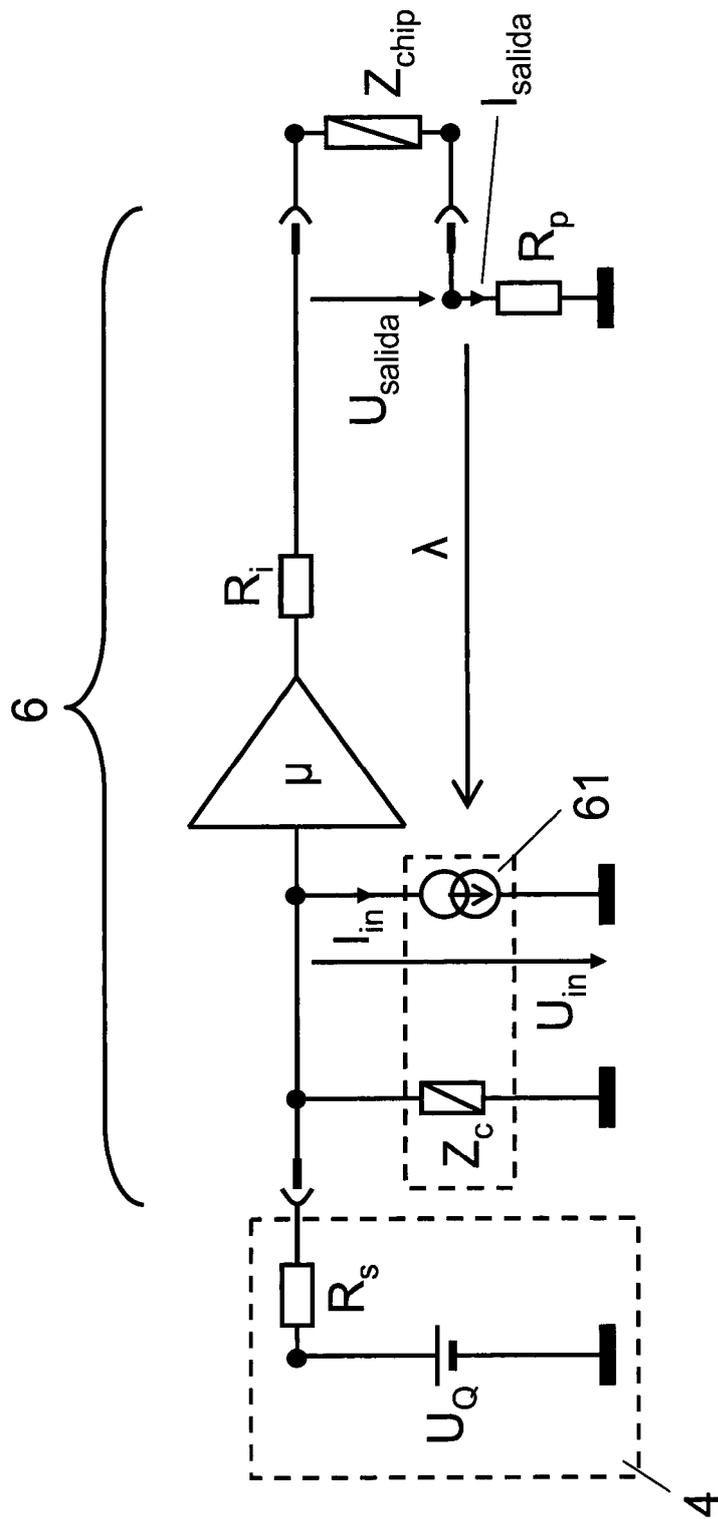


Fig. 4

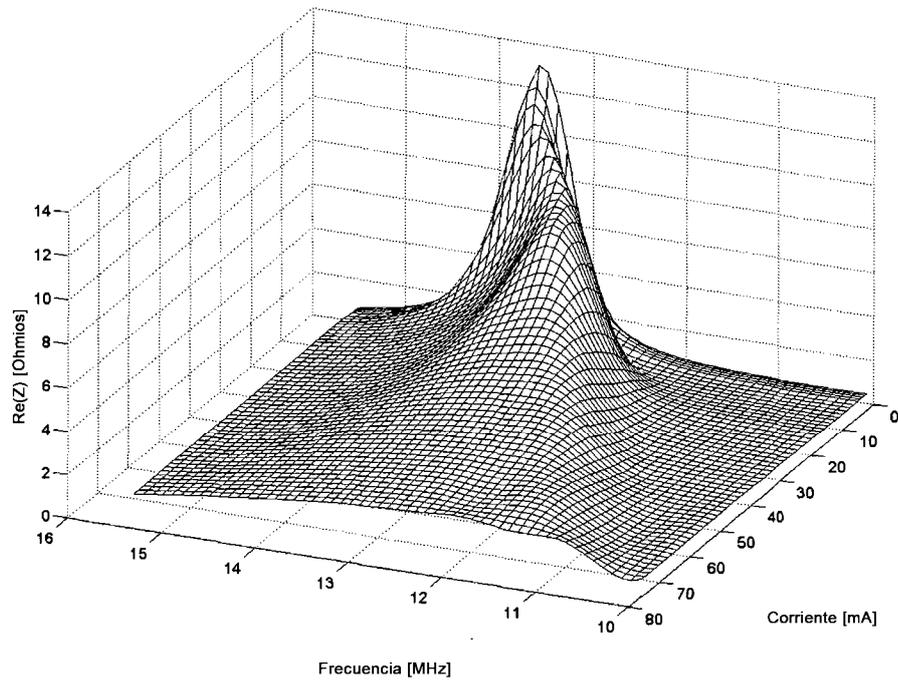


Fig. 2

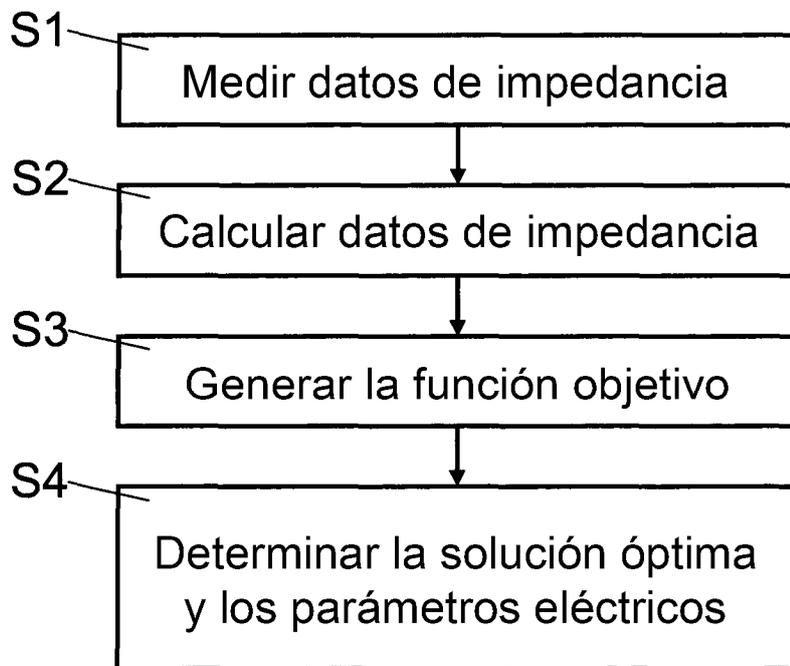


Fig. 7

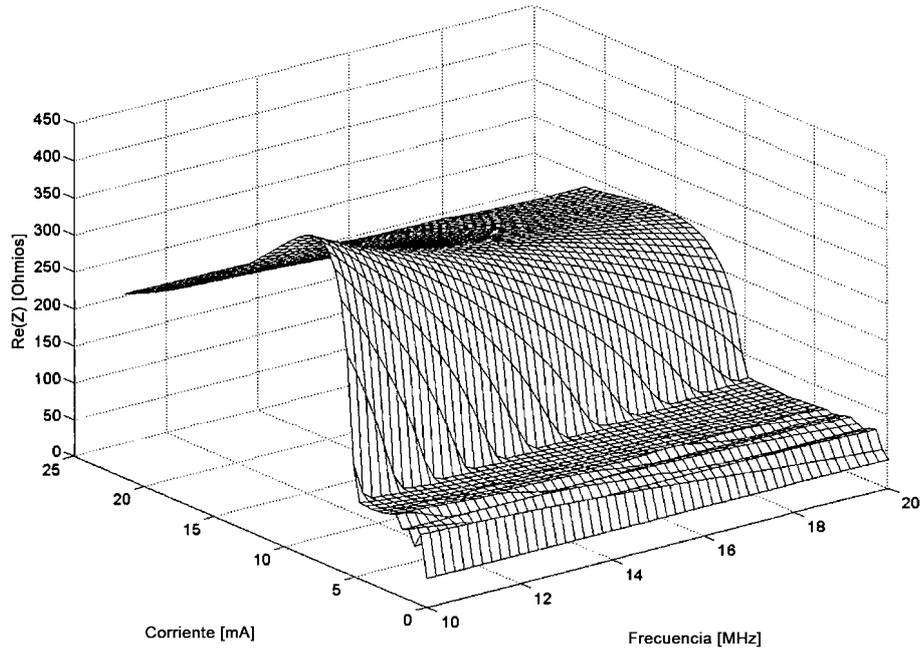


Fig. 5

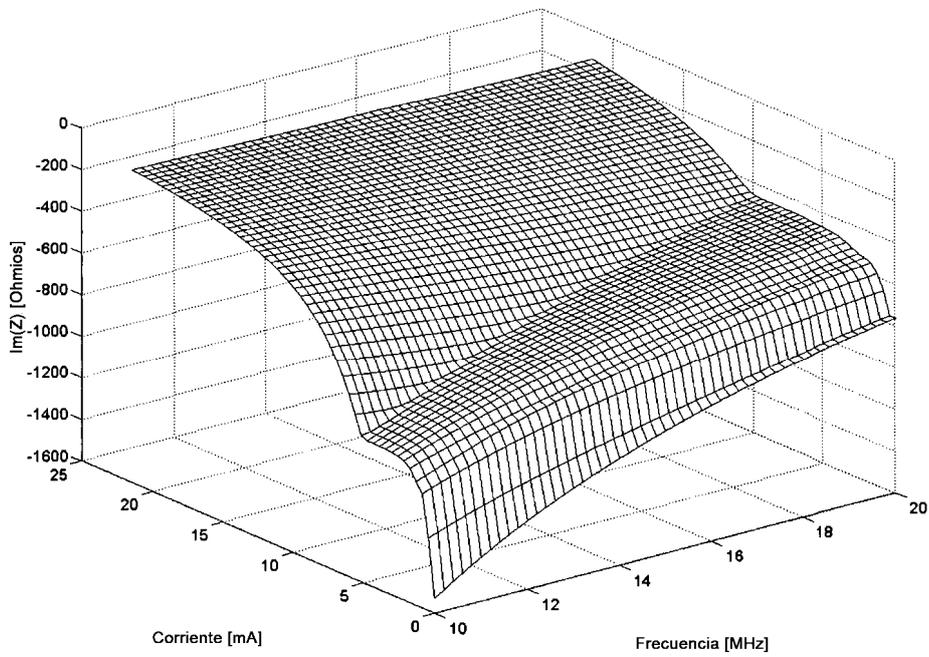


Fig. 6