

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 438 618**

21 Número de solicitud: 201230938

51 Int. Cl.:

**G01R 19/00**

(2006.01)

12

## PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

**15.06.2012**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**17.01.2014**

Fecha de la concesión:

**13.08.2014**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**21.08.2014**

56 Se remite a la solicitud internacional:

**PCT/ES2013/070385**

73 Titular/es:

**CENTRO DE INVESTIGACIONES ENERGÉTICAS,  
MEDIOAMBIENTALES Y TECNOLÓGICAS  
(CIEMAT) (100.0%)**

**Ciudad Universitaria de Madrid. Avenida  
Complutense 22  
28040 Madrid (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**ROMERO GONZÁLEZ, Jesús Antonio**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

54 Título: **Bobina de Rogowski y procedimiento para medir la corriente que circula por un conductor**

57 Resumen:

Bobina de Rogowski y procedimiento para medir la corriente que circula por un conductor mediante dicha bobina, comprendiendo la bobina de Rogowski (10) un tubo (1) de sección sustancialmente constante, con un primer extremo y un segundo extremo, estando adaptado el tubo (1) para que sus extremos puedan aproximarse entre sí para formar un lazo toroidal en una situación de uso, y una pluralidad de conductores eléctricos (2, 3), comprendiendo cada conductor eléctrico (2, 3) al menos un hilo conductor (2A, 3A), estando los hilos conductores aislados eléctricamente entre sí, en donde los conductores eléctricos (2, 3) verifican que están arrollados sobre la superficie exterior del tubo (1), con el mismo número de conductores arrollados en sentido horario (2) y en sentido anti-horario (3), que están distribuidos uniformemente sobre el tubo (1), y que están entretreídos los conductores arrollados en sentido horario (2) con los conductores arrollados en sentido antihorario (3).

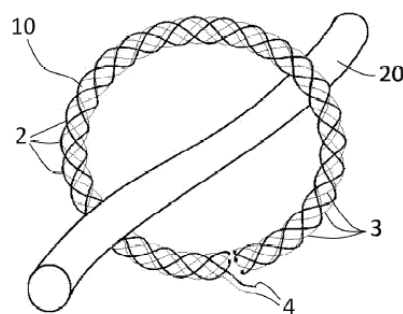


FIG. 1

ES 2 438 618 B1

**DESCRIPCIÓN**

Bobina de Rogowski y procedimiento para medir la corriente que circula por un conductor

**5 OBJETO DE LA INVENCION**

La presente invención se refiere a una bobina de Rogowski y a un procedimiento para medir la corriente que circula por un conductor y se enmarca en el campo de los dispositivos electrónicos, en particular dispositivos para la medición de corriente eléctrica.

**10 ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

La bobina de Rogowski se emplea como método no intrusivo para medir la corriente que circula por un conductor (W. Rogowski y W. Steinhaus, "*Die Messung der magnetischen Spannung*", Archiv für Elektrotechnik, 1912, 1, Pt.4, pp. 141–150). En su forma más básica, la bobina de Rogowski comprende un arrollamiento helicoidal alrededor de un tubo de sección constante. Dicho tubo se cierra sobre sí mismo y alrededor del cable del cual se desea medir la corriente, formando un lazo sensor de forma toroidal.

La bobinas de Rogowski son sensibles a campos electromagnéticos externos producidos por conductores no abrazados por el lazo sensor e interferencias electromagnéticas en general, siendo además la medida entregada dependiente del posicionamiento relativo entre la bobina Rogowski y el conductor.

En el caso ideal donde la bobina posee simetría axial perfecta respecto a un eje paralelo al conductor, el conductor es perfectamente rectilíneo y el campo electromagnético presente es generado exclusivamente por el conductor cuya corriente se desea medir, la señal de voltaje suministrada por el lazo sensor es análoga a la variación temporal de la corriente que se desea medir. En este caso, utilizando un circuito integrador con la calibración apropiada, se puede obtener una señal proporcional a la corriente que circula por el conductor.

Sin embargo, en los casos prácticos los conductores no son perfectamente rectilíneos y el lazo sensor no posee simetría axial, por lo que las medidas de corriente dependen de la orientación y posición del conductor que atraviesa el lazo sensor. Además, la existencia de campos electromagnéticos externos no producidos por el conductor cuya corriente se desea medir introduce problemas de interferencia inductiva, capacitiva y electromagnética. Todos estos factores limitan la precisión de las bobinas de tipo Rogowski.

Estos problemas se intentan resolver en la práctica reduciendo el diámetro del tubo en relación con su longitud, aumentando la precisión mecánica en la fabricación del devanado helicoidal, apantallando magnéticamente la unión de los extremos del tubo donde se cierra el lazo de medida y envolviendo el lazo de medida con apantallamiento metálico extra conectado a tierra.

La solicitud de patente en Estados Unidos con número de publicación US2011043190 describe una bobina Rogowski dotada de un aislamiento y un apantallamiento metálico conectado a tierra.

La patente en Estados Unidos con número de publicación US7746068 describe una bobina Rogowski dotada de un bobinado de compensación para compensar el espacio existente entre los dos extremos de la bobina.

La solicitud de patente PCT con número de publicación WO2009001185 describe una bobina Rogowski dotada de un mecanismo de cierre con un circuito magnético en los extremos de la bobina, para disminuir el error en la medida causado por la discontinuidad de la bobina en los extremos de unión.

**50 DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

La presente invención resuelve los problemas mencionados anteriormente mediante una bobina de Rogowski según la reivindicación 1 y un procedimiento según la reivindicación 16. En las reivindicaciones dependientes se definen realizaciones preferidas de la invención.

La bobina de Rogowski de la invención comprende un tubo de sección sustancialmente constante, con un primer extremo y un segundo extremo, estando adaptado el tubo para que sus extremos puedan aproximarse entre sí para formar un lazo toroidal en una situación de uso, y una pluralidad de conductores eléctricos, comprendiendo cada conductor eléctrico al menos un hilo conductor, estando los hilos conductores aislados eléctricamente entre sí, en donde los conductores eléctricos verifican que:

están arrollados sobre la superficie exterior del tubo, con el mismo número de conductores arrollados en sentido horario y en sentido anti-horario,

están distribuidos uniformemente sobre el tubo y

están entrelazados los conductores arrollados en sentido horario con los conductores arrollados en sentido anti-horario.

Los conductores eléctricos pueden incluir uno o varios hilos conductores. A lo largo del presente documento, en el caso en que cada conductor contiene un único hilo conductor, se hará referencia indistintamente a conductor o a hilo conductor.

5 Se entenderá que el tubo está adaptado para que sus extremos puedan aproximarse entre sí para formar un lazo toroidal en el sentido de ser suficientemente flexible para permitir dicha aproximación de sus extremos y permitir mantener una configuración sustancialmente toroidal.

10 La bobina de la presente invención proporciona un alto rechazo a campos externos, permitiendo eliminar y/o reducir el acoplamiento inductivo de la bobina Rogowski con otros circuitos externos no abrazados por el lazo sensor de medida y las interferencias electromagnéticas. Así, la bobina de la invención proporciona una medida correcta y de alta precisión de la corriente que circula por un conductor, independientemente del posicionamiento y orientación relativos entre el lazo de medida y el conductor cuya corriente se desea medir.

15 En efecto, el entretreído de los conductores de la bobina de la invención introduce un promediado espacial que logra que la medida obtenida sea independiente del posicionamiento relativo entre el lazo de medida y el conductor cuya corriente se desea medir, evitando así los errores derivados de un posible descentramiento del conductor respecto al lazo sensor. El entretreído elimina además el acoplamiento inductivo con conductores  
20 externos no abrazados por el lazo sensor. Por ello, la bobina propuesta mide la corriente con mayor precisión que las bobinas del estado de la técnica, relajando además los requerimientos de precisión constructiva y reduciendo por tanto los costes de fabricación.

25 En una realización, cada conductor tiene un número par de hilos conductores.

En una realización, cada conductor arrollado en un determinado sentido pasa un número igual de veces por encima y por debajo de cualquier otro conductor arrollado en sentido opuesto cuando completa una vuelta alrededor del tubo.

30 En una realización, en un extremo del tubo todos los hilos conductores están conectados eléctricamente entre sí.

En una realización, en un extremo del tubo los hilos conductores arrollados en sentido horario están conectados eléctricamente con los hilos conductores arrollados en sentido anti-horario.

35 En una realización preferida, la conexión eléctrica en uno o ambos extremos del tubo de hilos conductores arrollados en sentido horario con hilos conductores arrollados en sentido anti-horario es una conexión uno a uno.

40 En una realización, en el primer extremo del tubo los hilos conductores arrollados en sentido horario están conectados eléctricamente uno a uno con los hilos conductores arrollados en sentido anti-horario y en el segundo extremo del tubo, los hilos conductores arrollados en sentido horario están conectados eléctricamente con los hilos conductores arrollados en sentido anti-horario, excepto un hilo conductor en sentido horario y un hilo conductor en sentido anti-horario que permanecen sin conectar para actuar como terminales, de tal manera que configuran una trayectoria abierta que recorre todos los hilos conductores desde un terminal a otro.

45 En una realización, en el primer extremo del tubo los hilos conductores arrollados en sentido horario están conectados eléctricamente uno a uno con los hilos conductores arrollados en sentido anti-horario y en el segundo extremo del tubo los hilos conductores arrollados en sentido horario están conectados eléctricamente con los hilos conductores arrollados en sentido anti-horario, de tal manera que configuran una única trayectoria cerrada.

50 En esta realización, preferentemente, uno de los hilos conductores comprende un primer tramo y un segundo tramo separados por un seccionado, de manera que los extremos adyacentes de uno y otro tramo actúan como terminales de medición en una situación de uso. Más de un hilo conductor puede estar seccionado en dos tramos para configurar más de un par de terminales de medida, lo que permite realizar varias medidas simultáneas en una situación de uso. En una realización alternativa, tanto un hilo conductor arrollado en sentido horario como un  
55 hilo conductor arrollado en sentido anti-horario comprenden un primer tramo y un segundo tramo separados por un seccionado, de manera que el extremo seccionado de un tramo de cada uno de los conductores actúa como terminal, estando conectados eléctricamente los otros dos extremos seccionados entre sí.

60 En una realización, en el primer extremo del tubo los hilos conductores arrollados en sentido horario están conectados eléctricamente, preferentemente uno a uno, con los hilos conductores arrollados en sentido anti-horario y en el segundo extremo del tubo los hilos conductores arrollados en sentido horario están conectados eléctricamente entre sí y los hilos conductores arrollados en sentido anti-horario están conectados eléctricamente entre sí, configurando así los dos conjuntos de extremos unidos al menos dos terminales para transmitir una señal medida en una situación de uso de la bobina. Los hilos conductores arrollados en cada sentido pueden  
65 estar conectados en una única unión, configurando así dos terminales de medida, o en dos o más uniones, de

manera que en vez de un par de terminales, se configuran dos o más pares de terminales de medida, lo que permite realizar varias medidas simultáneas en una situación de uso.

5 En la bobina de Rogowski según la invención un terminal de medida puede estar configurado a partir de un único hilo conductor o a partir de la unión de varios hilos conductores.

10 En una realización, en el primer extremo del tubo los hilos conductores arrollados en sentido horario están conectados eléctricamente, uno a uno, con los hilos conductores arrollados en sentido anti-horario y en el segundo extremo del tubo los hilos conductores arrollados en sentido horario están conectados eléctricamente entre sí y los hilos conductores arrollados en sentido anti-horario están conectados eléctricamente entre sí, configurando así las dos uniones de hilos conductores dos terminales para transmitir una señal medida en una situación de uso de la bobina.

15 En una realización, en el primer extremo del tubo todos los hilos conductores están conectados eléctricamente entre sí y en el segundo extremo del tubo los hilos conductores arrollados en sentido horario están conectados eléctricamente entre sí y los hilos conductores arrollados en sentido anti-horario están conectados eléctricamente entre sí, configurando así las dos uniones de hilos conductores dos terminales para transmitir una señal medida en una situación de uso de la bobina.

20 En una realización, la bobina comprende adicionalmente al menos un elemento conductor sin aislamiento eléctrico, arrollado sobre el tubo y configurado para conectarlo a tierra. Preferentemente, la bobina comprende una pluralidad de elementos conductores sin aislamiento eléctrico, conectados todos juntos en los extremos del tubo y configurados para conectarlos a tierra.

25 En una realización, los conductores eléctricos comprenden cada uno una pluralidad de hilos conductores.

En una realización, los conductores eléctricos son torones.

30 En una realización, los conductores eléctricos son cables multi-coaxiales.

En una realización, los conductores eléctricos están arrollados sobre el tubo con un ángulo de arrollamiento y de entre 0 y 90°, preferentemente entre 45° y 90° respecto a la dirección longitudinal del tubo. Se entenderá que los extremos de los rangos están comprendidos en los rangos.

35 En una realización, el tubo está configurado de manera que sus extremos pueden aproximarse entre sí para formar un lazo toroidal de varias vueltas en una situación de uso.

En un segundo aspecto inventivo, se define un procedimiento para medir la corriente que circula por un conductor, caracterizado porque comprende las siguientes etapas:

40 disponer una bobina según el primer aspecto inventivo alrededor del conductor cuya corriente se desea medir,  
medir el voltaje entre los terminales de la bobina, e  
integrar temporalmente la señal de voltaje medida.

45 Todas las características descritas en esta memoria (incluyendo las reivindicaciones, descripción y dibujos) pueden combinarse en cualquier combinación, exceptuando las combinaciones de tales características mutuamente excluyentes.

## DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

50 Para complementar la descripción que seguidamente se va a realizar y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

55 En la figura 1 se muestra una bobina de Rogowski en una configuración en una situación de uso.

En la figura 2 se muestra la configuración de conductores eléctricos entretreídos sobre el tubo.

60 En la figura 3 se representa esquemáticamente la configuración geométrica de conductores eléctricos entretreídos sobre el tubo.

En la figura 4 se muestra una primera realización de la bobina de la invención con una conexión en serie entre conductores.

65

En la figura 5 se muestra una segunda realización de la bobina de la invención con una conexión en serie entre conductores.

5 En las figuras 6A y 6B se muestra una tercera realización de la bobina de la invención con una conexión en serie entre conductores.

En la figura 7 se muestra una cuarta realización de la bobina de la invención con una conexión en serie entre conductores.

10 En la figura 8 se muestra una quinta realización de la bobina de la invención con una conexión en serie entre conductores.

En la figura 9 se muestra una realización de la bobina de la invención con una conexión en paralelo entre conductores.

15 En la figura 10 se muestra una segunda realización de la bobina de la invención con una conexión en paralelo entre conductores.

20 En las figuras 11A y 11B se muestra, respectivamente, un sistema de prueba para la experimentación con bobinas y un detalle ampliado del mismo.

En la figura 12 se muestran resultados de la medida de la corriente que circula por un conductor, medida con dos bobinas según la invención.

25 En las figuras 13A y 13B se muestran dos ampliaciones de la gráfica de figura 12.

En la figura 14 se muestran resultados de medida de corriente en ausencia de un conductor dentro del lazo sensor.

## 30 REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

La bobina de Rogowski de la invención comprende un tubo (1) de sección sustancialmente constante, sobre el cual se encuentran entretejidos una pluralidad de conductores eléctricos (2, 3) uniformemente distribuidos sobre el tubo (1). Cada conductor (2, 3) puede tener uno o más hilos conductores (2A, 3A) aislados eléctricamente entre sí. La mitad de los conductores eléctricos (2) del entretejido están arrollados en sentido horario y la otra mitad (3) en sentido anti-horario. Los conductores arrollados en sentido horario (2) están entretejidos con los conductores arrollados en el sentido contrario (3). En la figura 2 se muestra la configuración de conductores eléctricos entretejidos sobre el tubo en un tramo de bobina según la invención, donde se aprecia un tubo (1) sobre el que se encuentran entretejidos una pluralidad de conductores eléctricos, con tres hilos conductores (2A, 2B, 2C; 3A, 3B, 3C) en cada conductor.

En la figura 1 se muestra una bobina de Rogowski según la invención, en una situación de uso, con los extremos de la bobina adyacentes entre sí y la bobina configurando un toroide que circunda el elemento conductor (20) cuya corriente se desea medir.

45 En la figura 3 se muestra una porción de un entretejido según una realización con varios conductores (2, 3) arrollados en cada sentido y tres hilos conductores (2A, 2B, 2C; 3A, 3B, 3C) por cada conductor (2, 3). Se indica además el ángulo de arrollamiento y que forman los conductores respecto a la dirección longitudinal del tubo.

50 En la figura 4 se muestra esquemáticamente una primera realización en la que los conductores (2, 3) se encuentran conectados en serie. En esta figura, al igual que en las figuras sucesivas se han empleado un número reducido de conductores (2, 3) y de hilos conductores por conductor así como un ángulo de arrollamiento pequeño para apreciar más claramente la configuración de la bobina. En la práctica, cuanto mayor sea el porcentaje de tubo (1) cubierto por el entretejido de conductores (2, 3), mejor será el funcionamiento de la bobina (10).

Además, en relación con los errores debidos a perturbaciones por campos externos, en la práctica, cuanto mayor sea el ángulo de entretejido mayor es el nivel de señal obtenido frente a perturbaciones externas, por lo que se mejora el rechazo. Asimismo, cuanto menor sea la relación diámetro/longitud del tubo, mejor es el resultado obtenido y cuanto mayor sea el número de conductores mejor promediado espacial se obtiene y más se minimiza el error debido a campos externos.

60 Con respecto a los errores debidos al posicionamiento del conductor cuya corriente se desea medir, cuanto mayor sea el número de conductores mejor promediado espacial se obtiene, lo que hace que la medida sea más independiente de la localización espacial de la corriente que se desea medir, permitiendo que el conductor (20)

no esté perfectamente situado en el centro del toro formado por la bobina (10), obteniéndose medidas sin error aunque esté descentrado.

En la realización de la figura 4, la bobina presenta cuatro conductores (2, 3) entretejidos, dos en sentido horario (2) y dos en sentido anti-horario (3), con un hilo conductor por cada conductor. Las líneas gruesas representan un sentido de arrollamiento horario (2) y las líneas finas un sentido de arrollamiento anti-horario (3). En los dos extremos del tubo (1) los conductores arrollados en sentido horario (2) están conectados eléctricamente uno a uno con los conductores arrollados en sentido anti-horario (3), con la excepción de dos conductores (4) situados en uno de los extremos del tubo (1) que permanecen sin conectar y están destinados a actuar como terminales. Dichos conductores (4) que permanecen sin conectar, uno arrollado en sentido horario (2) y otro arrollado en sentido anti-horario (3), están reservados para su conexión eléctrica con un cable de transmisión de señal. El resto de conductores están conectados de manera que configuran una única trayectoria abierta con principio y fin en ambos terminales (4). Los puntos negros de la figura indican la conexión entre conductores.

En las figuras 5 y 6 se muestran variantes de la realización de la figura 3.

En la figura 5 se muestra esquemáticamente una realización de conexión en serie de seis conductores (2, 3) entretejidos, tres conductores en sentido horario (2) y tres en sentido anti-horario (3), con un hilo conductor por cada conductor. Como en la figura 4, las líneas gruesas representan un sentido de arrollamiento horario (2) y las líneas finas un sentido de arrollamiento anti-horario (3) y los puntos negros indican los puntos de unión entre los conductores arrollados en sentido horario (2) y anti-horario (3).

Al igual que en la realización de la figura 4, en uno de los extremos del tubo dos conductores (4), uno arrollado en sentido horario (2) y otro arrollado en sentido anti-horario (3), permanecen sin conectar, reservados como terminales (4) para medir el voltaje del elemento conductor (20) en una situación de uso de la bobina.

En la figura 6A se muestra una realización de conexión en serie de seis conductores (2, 3) entretejidos, con dos hilos conductores (2A, 2B; 3A, 3B) por cada conductor. Como en figuras anteriores, los conductores arrollados en un sentido y en otro aparecen representados con distinto trazo. Esta configuración sería equivalente a la conexión en serie de dos entretejidos de seis conductores (2, 3) con un hilo conductor (2A; 3A) por cada conductor, como se representa en la figura 6B.

De manera similar a las realizaciones de las figuras 4 y 5, los conductores (4) arrollados en sentido horario (2) y anti-horario (3) se conectan en los extremos del tubo (1). En este caso en que existen dos hilos conductores (2A, 2B; 3A, 3B) por conductor (2, 3) las conexiones se llevan a cabo hilo a hilo, de manera que todos los hilos conductores salvo dos quedan conectados uno a uno, configurando una única trayectoria abierta con inicio y final en los extremos de los dos hilos conductores sin conectar. Dichos extremos de los dos hilos conductores que permanecen sin conectar, uno arrollado en sentido horario (2A) y otro arrollado en sentido anti-horario (3A), se reservan como terminales (4) para su conexión eléctrica con un cable de transmisión de señal en una situación de uso de la bobina.

La figura 7 es otra realización con tres conductores (2, 3) arrollados en cada sentido y un solo hilo conductor cada uno, conectados los conductores arrollados en sentido horario (2) con los conductores arrollados en sentido anti-horario (3) uno a uno en los extremos del tubo (1). En esta realización todos los hilos conductores están conectados por sus extremos uno a uno, configurando una única trayectoria cerrada y uno de los hilos está seccionado en una zona sustancialmente central del tubo (1), de manera que los extremos seccionados configuran los terminales (4) para medir la señal de voltaje en una situación de uso de la bobina. El hilo seccionado puede estar arrollado en sentido horario o anti-horario.

La figura 8 es una variante de la figura 7, siendo la única diferencia entre ambas que en esta realización son dos los hilos conductores seccionados, arrollados uno en cada sentido. Así un extremo seccionado de cada hilo conductor configura cada terminal (4) para extracción de la señal medida, mientras que los otros dos extremos seccionados se conectan entre sí.

En la figura 9 se muestra esquemáticamente una realización de conexión en paralelo de seis conductores (2, 3) entretejidos, tres en cada sentido, con un hilo conductor (2A, 3A) por cada conductor. Las líneas gruesas representan un sentido de arrollamiento horario (2) y las líneas finas un sentido de arrollamiento anti-horario (3) y los puntos negros indican los puntos de unión entre conductores. Se aprecia que en un extremo del tubo (en la figura, el extremo izquierdo) todos los hilos conductores (2, 3) están en contacto eléctrico. En el otro extremo, todos los conductores arrollados en sentido horario (2) están conectados conformando un primer terminal (4) y todos los conductores arrollados en sentido anti-horario (3) están conectados conformando un segundo terminal (4).

En la figura 10 se muestra una variante de realización en paralelo, similar a la de la figura 9, siendo la única diferencia que en el extremo del tubo en el que no se encuentran los terminales (4), los conductores están

conectados uno a uno, los arrollados en sentido horario (2) con los arrollados en sentido anti-horario (3).

En una realización, la bobina (10) comprende adicionalmente un mallado de apantallamiento, configurado mediante al menos un elemento conductor sin aislamiento eléctrico, arrollado sobre el tubo (1) y adaptado para conectarse a tierra. Esta configuración es ventajosa cuando existen grandes variaciones de potencial eléctrico en las proximidades del sensor y se desea reducir el acoplamiento capacitivo, y por ende electromagnético, mediante un apantallamiento de tipo electroestático. En el caso en que existe una pluralidad de elementos conductores para apantallamiento, los elementos conductores se encuentran conectados todos juntos en los dos extremos del tubo (1) y configurados para conectarse a su vez a tierra.

En una realización, el mallado de apantallamiento se proporciona mediante hilos conductores sin aislamiento eléctrico entretejidos sobre el tubo (1) y formando parte de los conductores (2, 3). En otra realización, el mallado de apantallamiento se proporciona como una camisa externa dispuesta sobre el tubo (1) con los conductores (2, 3) entretejidos.

En una situación de uso de la bobina, se conforma el lazo sensor aproximando los dos extremos del tubo para formar un lazo toroidal alrededor del conductor (20) cuya corriente se desea medir, como se muestra en la figura 1. Dicho lazo puede tener una o varias vueltas alrededor del conductor (20).

El voltaje medido entre los extremos de la bobina (10) es análogo a la derivada de la corriente en el conductor (20), por lo que es posible obtener la corriente que circula por el conductor (20) integrando analógica o digitalmente en el tiempo la señal de voltaje medida.

En la figuras 12 a 14 se muestran los resultados experimentales obtenidos con una realización de la bobina Rogowski de la invención, que presenta 24 hilos de ida y 24 hilos de vuelta arrollados a 45 grados.

En la figura 11 se muestra el esquema del sistema de prueba (30) empleado en los experimentos para comprobar la precisión de la bobina de Rogowski (10) según las realizaciones ejemplificadas. El sistema de prueba (30) es de tipo “*stellarator*” y presenta unas bobinas (31) que crean un campo toroidal, y tres bobinas que crean un campo poloidal (32, 33, 34). La bobina de Rogowski (10) de la realización, representada esquemáticamente con una apariencia tubular, se encuentra dispuesta en el interior de las bobinas que crean el campo toroidal (31).

En los experimentos realizados, cuyos resultados se han representado en las figuras 12 a 14 se han utilizado 3 bobinas: una comercial de 3.5 metros y 2 bobinas de Rogowski según la invención, trenzadas, de unos 10 metros cada una y conectadas en sus extremos en serie y en paralelo, respectivamente, en una situación de medida. Para realizar los experimentos, una primera parte de la bobina se arrolla alrededor de un conductor cuya corriente se desea medir, denominado conductor VF (del inglés, *Vertical Field*, VF), por ser responsable de crear un campo magnético en la dirección vertical, que se usa para calibración, y cuya corriente se mide además independientemente con un shunt, y la parte restante de la bobina, o segunda parte de la bobina, se arrolla en un número entero de vueltas y se sitúa en el interior del sistema de prueba (30) representado en la figura 11, de manera que se vea sometida a la influencia relativa de los campos externos creados por los conductores del sistema (31, 32, 33, 34). Con una bobina de Rogowski ideal, la segunda parte de la bobina, dispuesta en el interior del sistema de prueba (30) no debería medir nada, puesto que no arrolla ningún conductor, es decir, no existe ningún conductor en el interior del lazo de medida que crea.

En la gráfica de la figura 12, etiquetada VF, se representa la corriente (en kA) de un conductor medida mediante un shunt (40), mediante la bobina de Rogowski convencional (41) y mediante cada una de las dos bobinas de Rogowski según la invención, una con configuración en serie (42) y otra con configuración en paralelo (43), y sin aplicar campo externo.

En la figura 13A se muestra un detalle ampliado de la parte superior de las curvas, para apreciar mejor las diferencias entre ellas.

La gráfica de la figura 13B muestra un detalle muy ampliado de la gráfica de la figura 12 durante el flat-top de la corriente. Se puede apreciar que la corriente medida no es totalmente constante, sino que presenta un rizado del 0.1% con una frecuencia de 1kHz aproximadamente, debido a que se han utilizado fuentes conmutadas de alimentación. Se observa en esta figura que la precisión de medida en la fase es mucho mejor en el caso de las bobinas según la invención (42, 43), como se aprecia de la comparación con la corriente medida mediante el shunt (40). Por el contrario, la corriente medida por la bobina comercial (41) presenta un desfase de casi 180 grados a la frecuencia mostrada.

La gráfica de la figura 14, etiquetada TF, muestra la influencia de un campo toroidal externo aplicado de aproximadamente 1 Tesla, junto un campo poloidal de aproximadamente 0.5 Tesla. La magnitud de los campos es aproximada en el sentido de que no son campos uniformes y presentan gradientes importantes, por lo que

diferentes partes de las bobinas Rogowski pueden estar sometidas a diferentes influencias. Puede apreciarse que todas las bobinas probadas: las dos bobinas de Rogowski según la invención y la bobina de Rogowski comercial miden campo cuando no deberían, puesto que en el experimento no existía ningún conductor dispuesto en el lazo de las bobinas. Sin embargo, se observa también que la bobina comercial (41) es mucho más sensible a la influencia de los campos externos que las bobinas de Rogowski según la invención, que permiten disminuir en gran medida el efecto de los campos externos sobre las medidas realizadas.

En efecto, en la figura 14 se observa que la interferencia del campo externo en las bobinas de Rogowski según la invención (indistintamente en configuración serie (42) o paralelo (43)) es 20 veces menor que la interferencia en la bobina de Rogowski comercial (41). Tomando como referencia los datos del fabricante de la bobina de Rogowski comercial (41), según los cuales corrientes externas contribuyen con el 1% de la medida, se tendría para las bobinas de Rogowski según la invención (42, 43) una precisión del orden del 0.05%, lo que las convertiría en el primer sensor de lazo flexible de clase 0.1 (esto es, de precisión relativa del 0.1%). Esta precisión podría mejorarse aun más aumentando el recubrimiento con hilos conductores y/o aumentando el ángulo de arrollamiento.



## REIVINDICACIONES

1. Bobina de Rogowski (10), caracterizada porque comprende:  
 un tubo (1) de sección sustancialmente constante, con un primer extremo y un segundo extremo,  
 estando adaptado el tubo (1) para que sus extremos puedan aproximarse entre sí para formar un lazo toroidal en una situación de uso, y  
 una pluralidad de conductores eléctricos (2, 3), comprendiendo cada conductor eléctrico (2, 3) al menos un hilo conductor (2A, 3A), estando los hilos conductores aislados eléctricamente entre sí, en donde los conductores eléctricos (2, 3) verifican que:  
 están arrollados sobre la superficie exterior del tubo (1), con el mismo número de conductores arrollados en sentido horario (2) y en sentido anti-horario (3),  
 están distribuidos uniformemente sobre el tubo (1) y  
 están entretejidos los conductores arrollados en sentido horario (2) con los conductores arrollados en sentido anti-horario (3).
2. Bobina de Rogowski (10) según la reivindicación 1, caracterizada porque cada conductor (2, 3) arrollado en un determinado sentido pasa un número igual de veces por encima y por debajo de cualquier otro conductor (2, 3) arrollado en sentido opuesto cuando completa una vuelta alrededor del tubo (1).
3. Bobina de Rogowski (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque en el primer extremo del tubo (1) todos los hilos conductores (2A, 2B) están conectados eléctricamente entre sí.
4. Bobina de Rogowski (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1-2, caracterizada porque en el primer extremo del tubo (1) los hilos conductores arrollados en sentido horario (2A) están conectados eléctricamente uno a uno con los hilos conductores arrollados en sentido anti-horario (3A).
- 5.- Bobina de Rogowski (10) según la reivindicación 4, caracterizada porque en el segundo extremo del tubo (1), los hilos conductores arrollados en sentido horario (2A) están conectados eléctricamente con los hilos conductores arrollados en sentido anti-horario (3A), excepto un hilo conductor en sentido horario y un hilo conductor en sentido anti-horario que permanecen sin conectar para actuar como terminales (4), de tal manera que configuran una trayectoria abierta que recorre todos los hilos conductores desde un terminal a otro.
6. Bobina de Rogowski (10) según la reivindicación 4, caracterizada porque los hilos conductores arrollados en sentido horario (2A) están conectados eléctricamente en el segundo extremo del tubo (1) con los hilos conductores arrollados en sentido anti-horario (3A), de tal manera que configuran una única trayectoria cerrada, y porque un hilo conductor (2A, 2B) comprende un primer tramo y un segundo tramo separados por un seccionado de manera que los extremos adyacentes de uno y otro tramo pueden actuar como terminales (4).
7. Bobina de Rogowski (10) según la reivindicación 4, caracterizada porque los hilos conductores arrollados en sentido horario (2A) están conectados eléctricamente en el segundo extremo del tubo (1) con los hilos conductores arrollados en sentido anti-horario (3A), de tal manera que configuran una única trayectoria cerrada, y porque tanto un hilo conductor arrollado en sentido horario (2A) como un hilo conductor arrollado en sentido anti-horario (3A) comprenden un primer tramo y un segundo tramo separados por un seccionado, de manera que el extremo seccionado de un tramo de cada uno de los conductores actúa como terminal (4), estando conectados eléctricamente los otros dos extremos seccionados entre sí.
8. Bobina de Rogowski (10) según la reivindicación 3 ó 4, caracterizada porque en el segundo extremo del tubo (1) los hilos conductores arrollados en sentido horario (2A) están conectados eléctricamente entre sí y los hilos conductores arrollados en sentido anti-horario (3A) están conectados eléctricamente entre sí, configurando así las dos uniones de hilos conductores dos terminales (4) para transmitir una señal medida en una situación de uso de la bobina (10).
9. Bobina de Rogowski (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque comprende adicionalmente al menos un elemento conductor sin aislamiento eléctrico, arrollado sobre el tubo (1) y configurado para conectarlo a tierra.
10. Bobina de Rogowski (10) según la reivindicación 9, caracterizada porque comprende una pluralidad de elementos conductores sin aislamiento eléctrico, conectados todos juntos en los extremos del tubo (1) y configurados para conectarlos a tierra.
11. Bobina de Rogowski (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque los conductores eléctricos (2, 3) comprenden cada uno una pluralidad de hilos conductores (2A, 2B, 2C; 3A, 3B, 3C).
12. Bobina de Rogowski (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque los conductores eléctricos (2, 3) son torones.

13. Bobina de Rogowski (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque los conductores eléctricos (2, 3) son cables multi-coaxiales.
- 5 14. Bobina de Rogowski (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque los conductores eléctricos (2, 3) están arrollados sobre el tubo (1) con un ángulo de arrollamiento y de entre 0 y 90°, preferentemente entre 45° y 90° respecto a la dirección longitudinal del tubo.
- 10 15. Bobina de Rogowski (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque el tubo (1) está configurado de manera que sus extremos pueden aproximarse entre sí para formar un lazo toroidal de varias vueltas en una situación de uso.
16. Procedimiento para medir la corriente que circula por un conductor, caracterizado porque comprende las siguientes etapas:
- 15       disponer una bobina (10) según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes alrededor del conductor (20) cuya corriente se desea medir,  
          medir el voltaje entre los terminales de la bobina (10), e  
          integrar temporalmente la señal de voltaje medida.

20

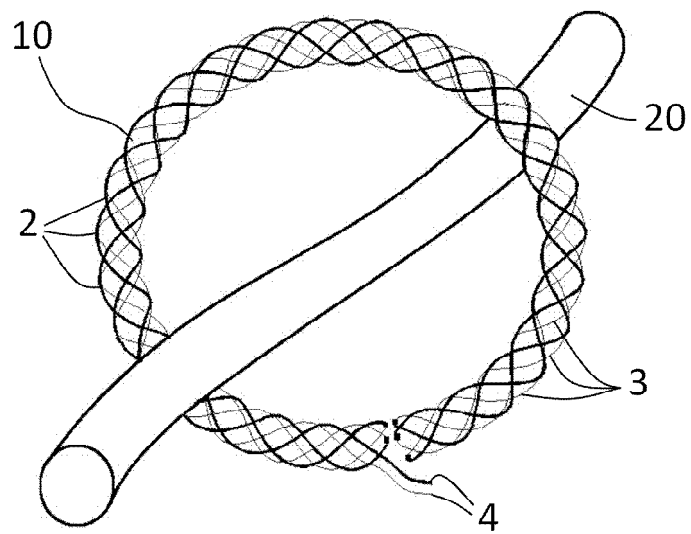


FIG. 1

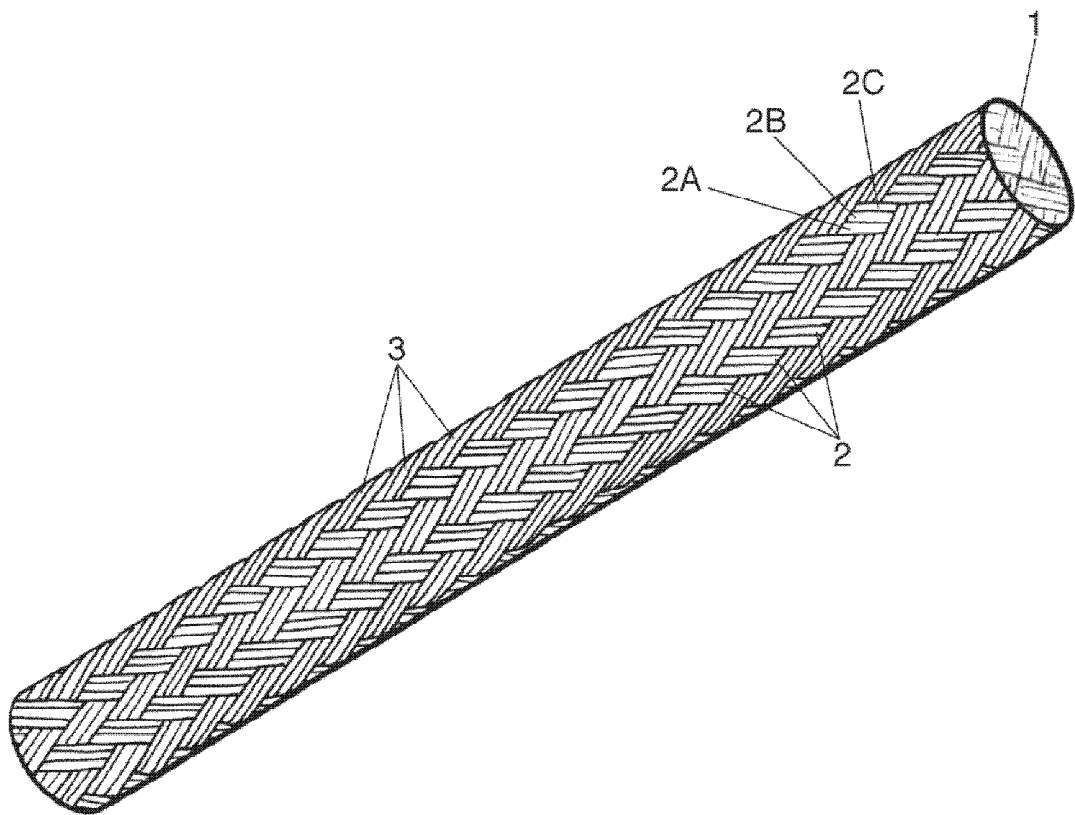


FIG. 2

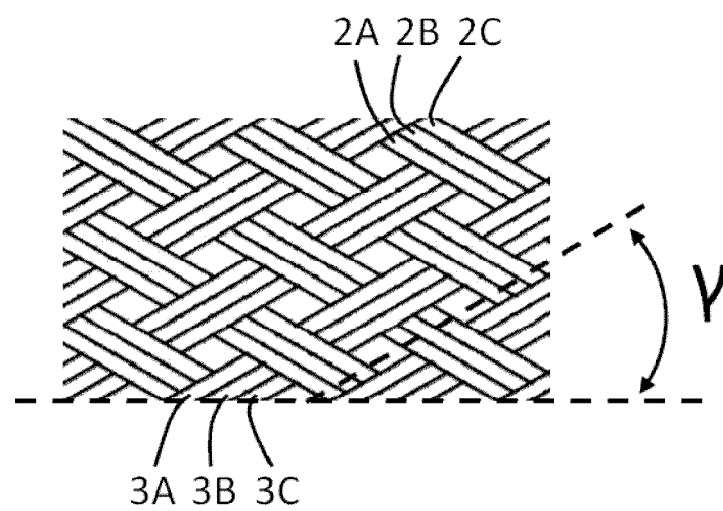


FIG. 3

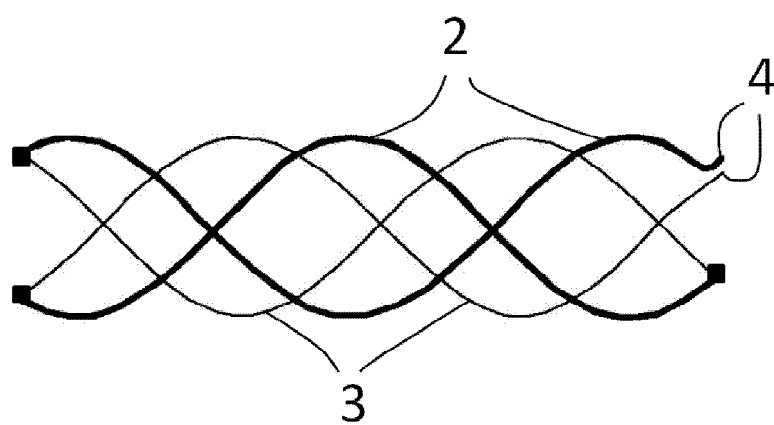


FIG. 4

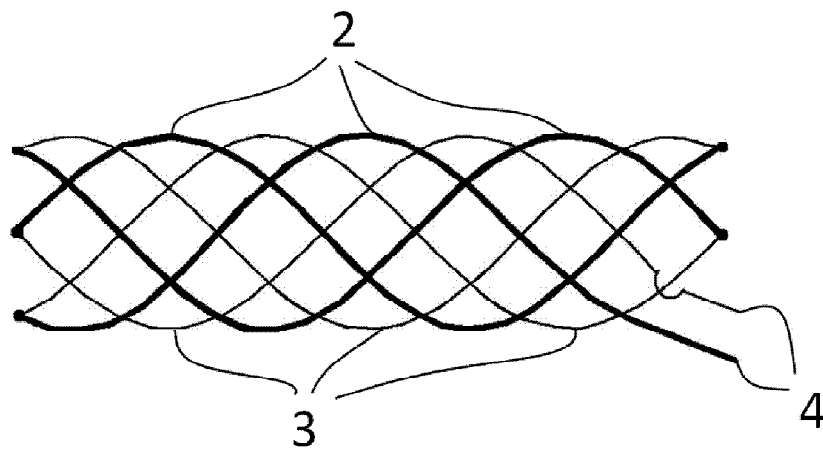


FIG. 5

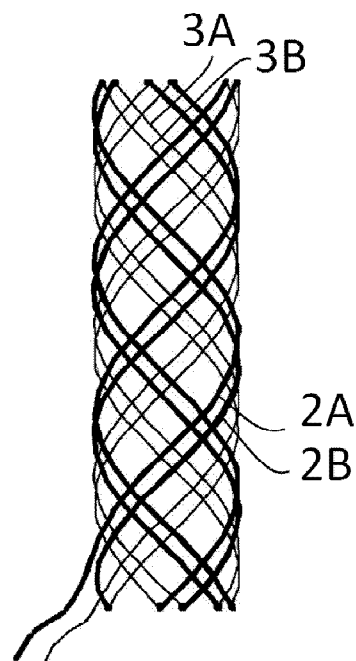


FIG. 6A

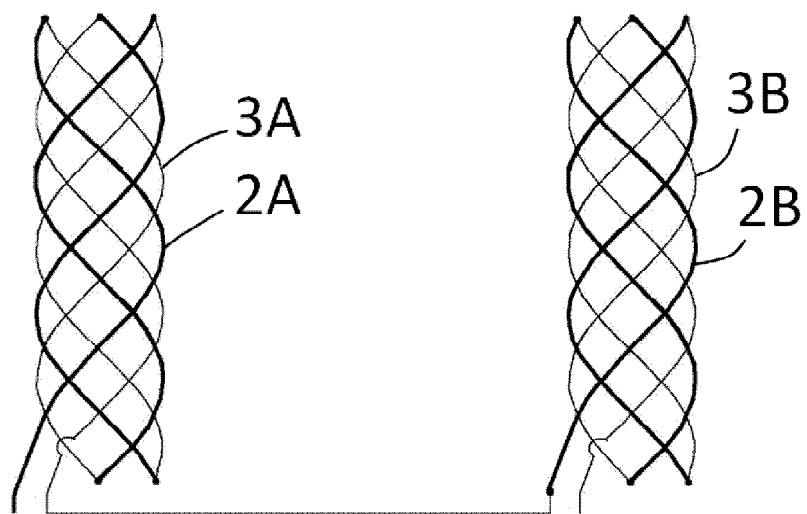


FIG. 6B

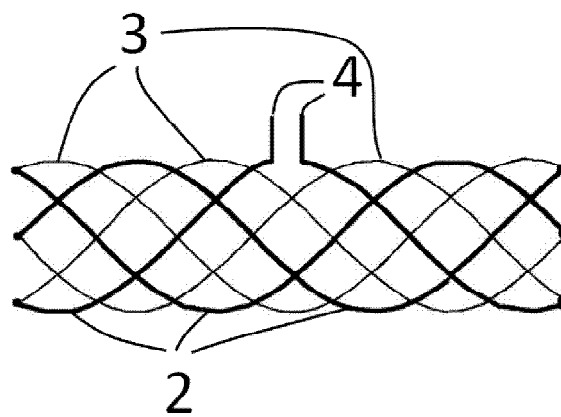


FIG. 7

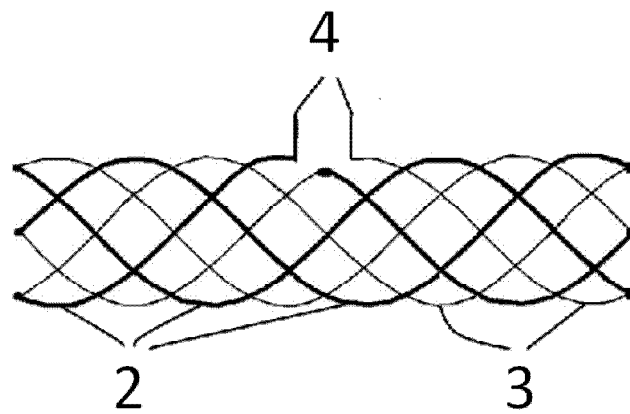


FIG. 8

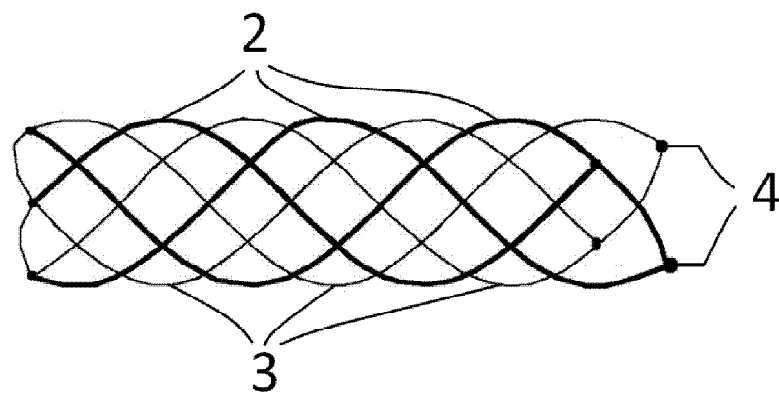


FIG. 9

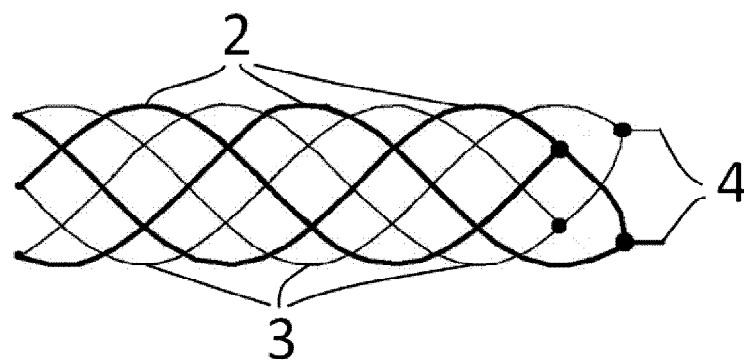


FIG. 10

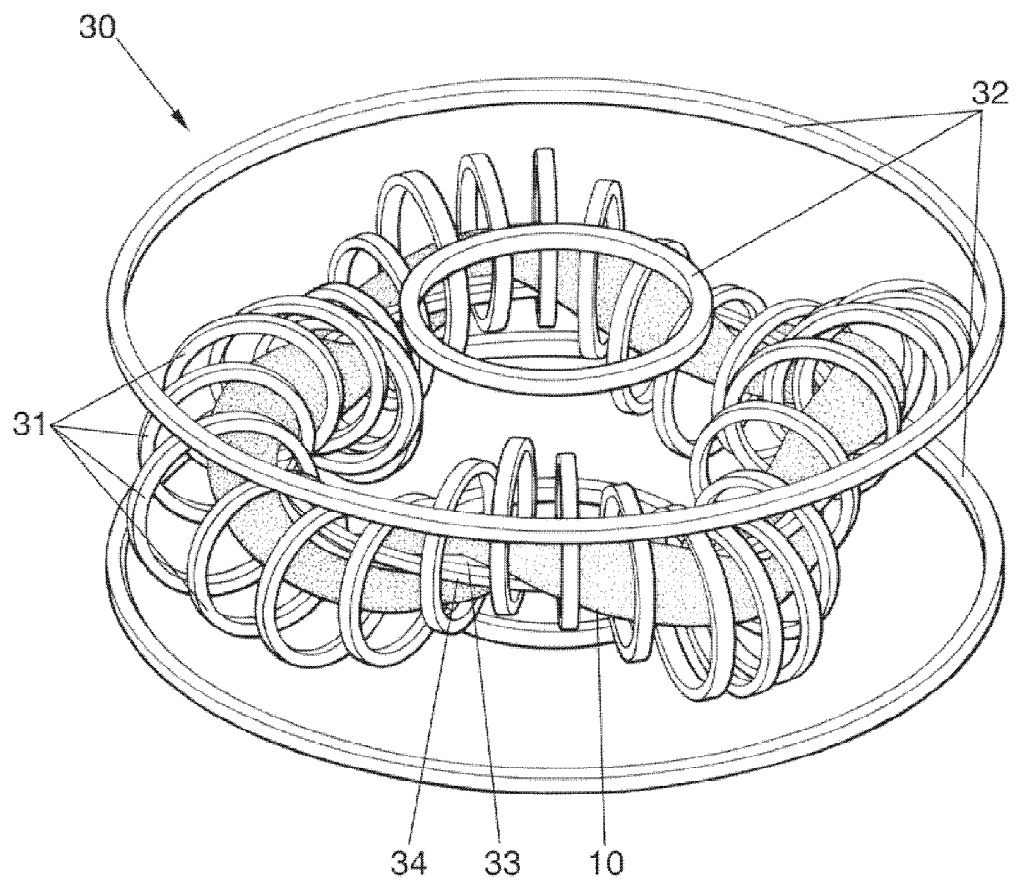


FIG. 11A

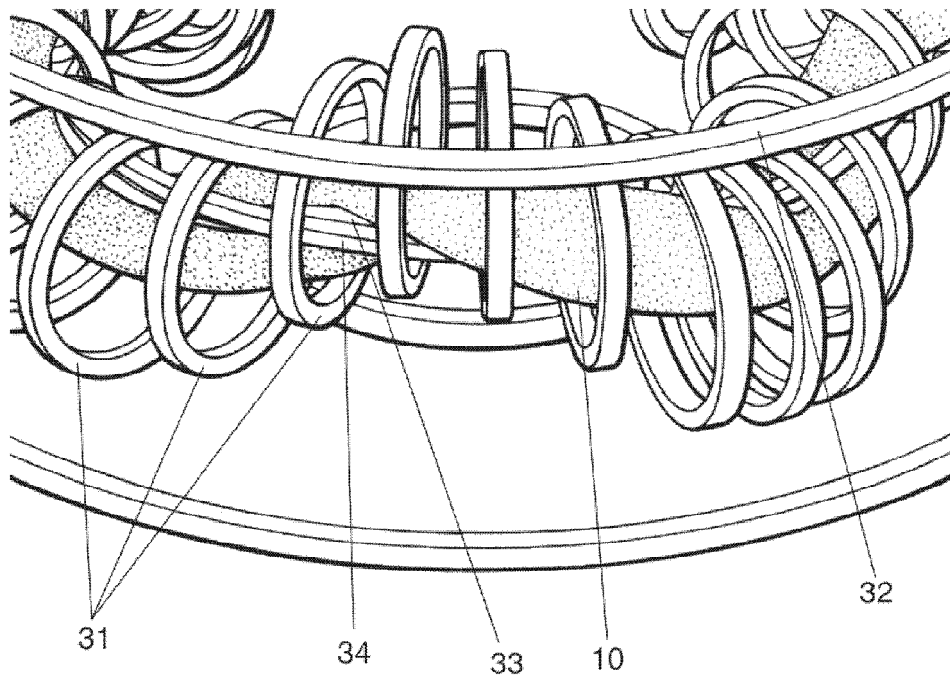


FIG. 11B



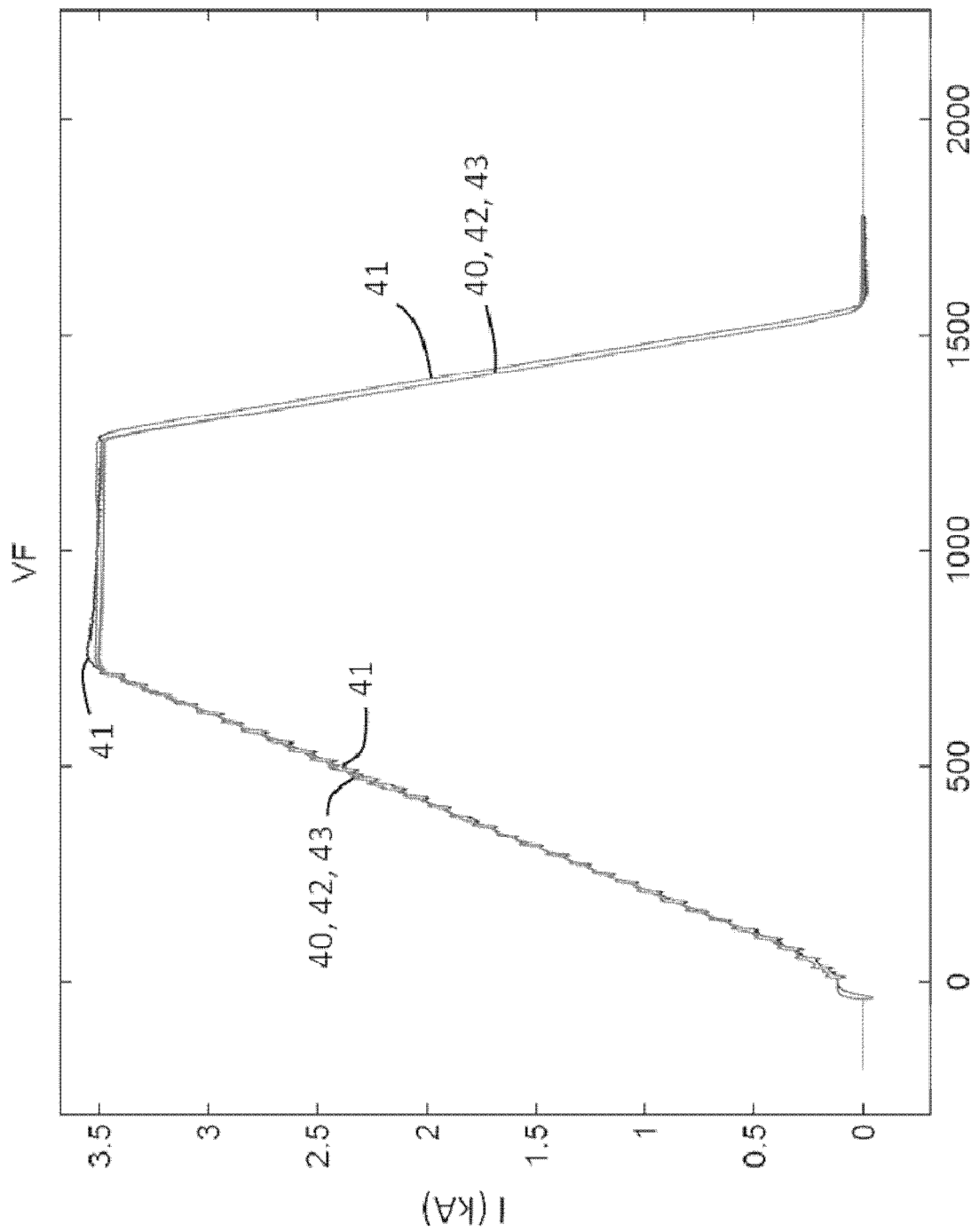


FIG. 12

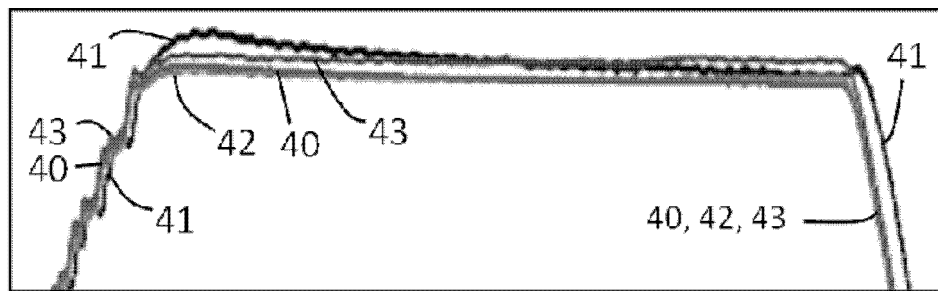


FIG. 13A

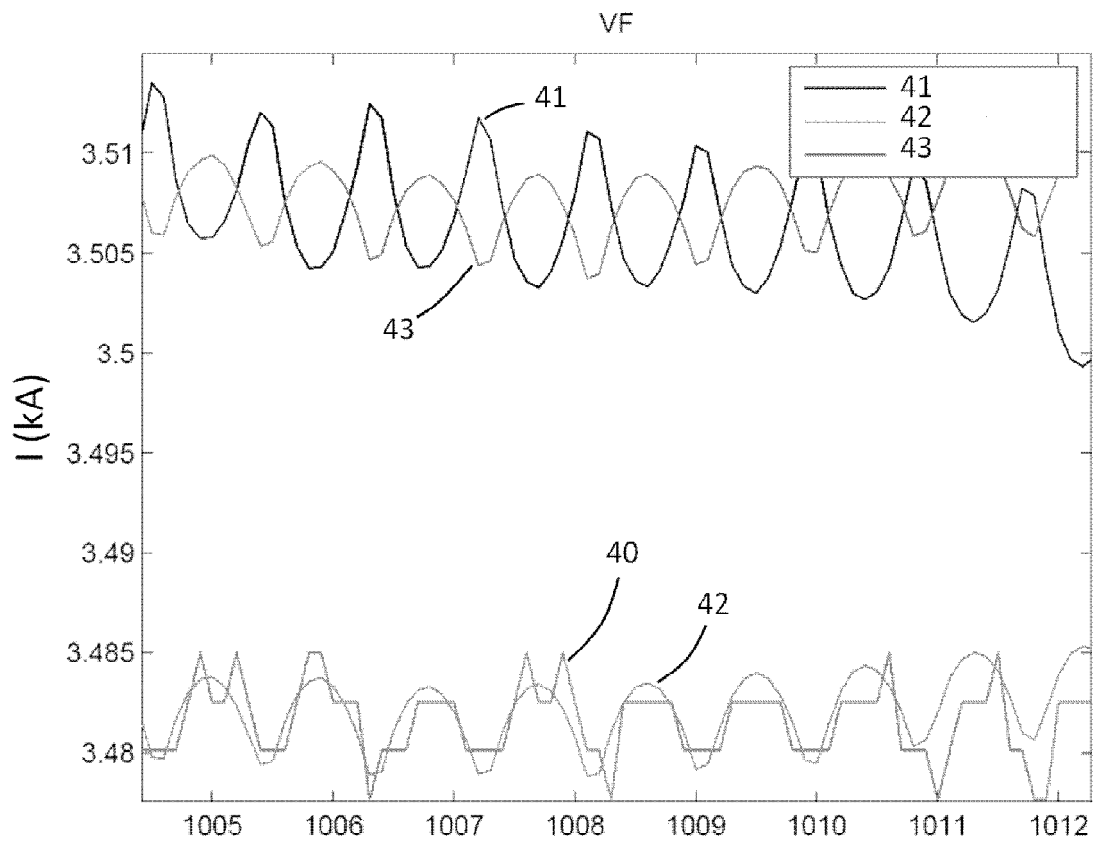


FIG. 13B

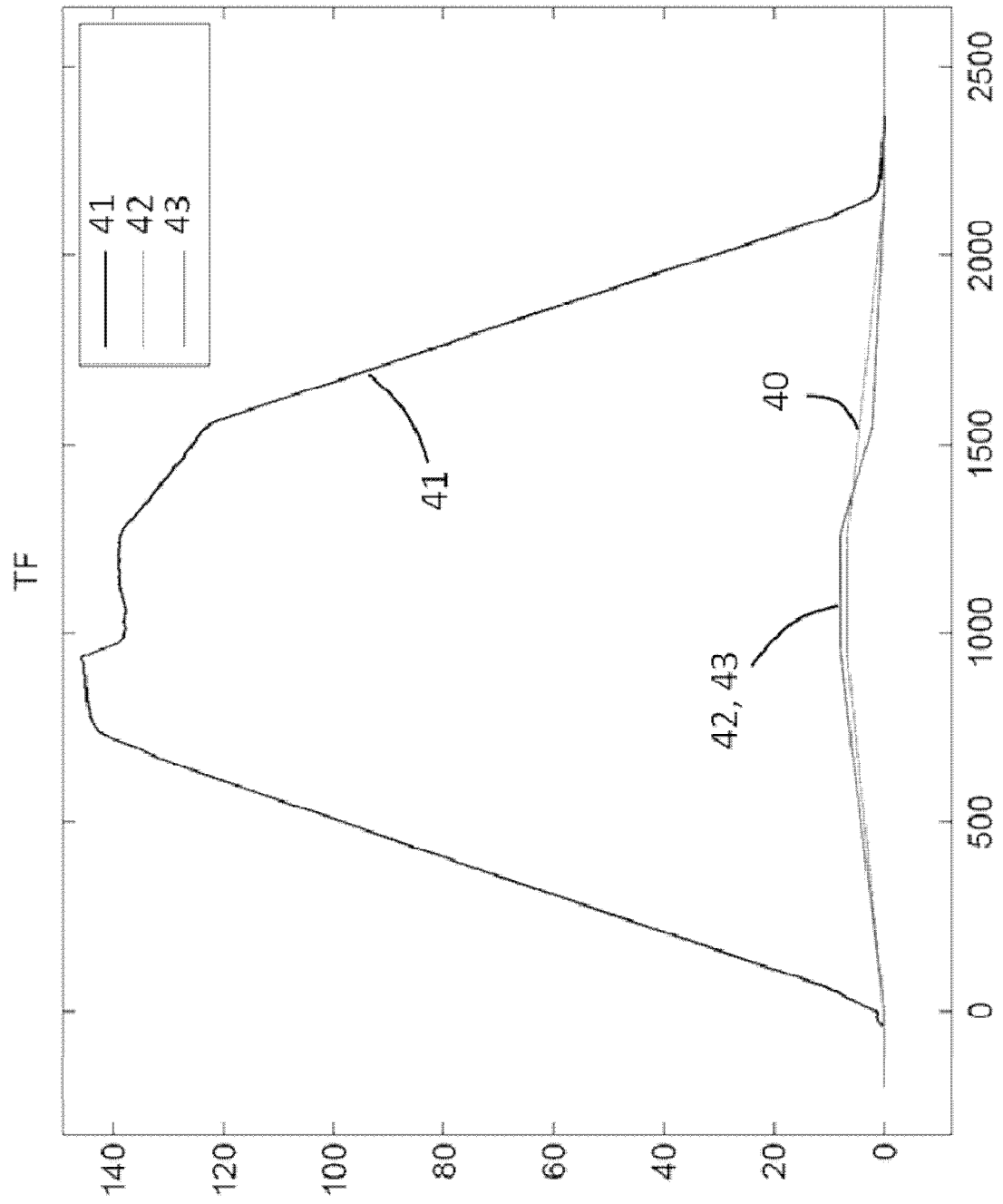


FIG. 14