

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 952 373**

51 Int. Cl.:

B64D 15/12

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.08.2019** **PCT/US2019/048253**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.03.2020** **WO20046873**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.08.2019** **E 19765896 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.05.2023** **EP 3844065**

54 Título: **Sistemas de deshielo**

30 Prioridad:

27.08.2018 US 201862723270 P

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

31.10.2023

73 Titular/es:

DE-ICE TECHNOLOGIES, INC. (100.0%)
28 Dane Street
Somerville, MA 02143, US

72 Inventor/es:

BRATIANU-BADEA, ALEXANDRU;
TOUBIANA, RUBEN;
BUENROSTRO, CHRISTOPHER y
KROPP, SEAN, DAVID

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 952 373 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

Sistemas de deshielo

- 5 Esta patente reivindica la prioridad de la solicitud de patente de EE. UU. n.º 62/723.270, presentada el 27 de agosto de 2018.

Campo técnico

- 10 Esta memoria descriptiva se refiere a un sistema para calentar una parte exterior de una aeronave.

Antecedentes

- 15 Muchas superficies conductoras, tales como las de coches, aeronaves y satélites, se encuentran con condiciones de frío y hielo durante el uso cotidiano. La acumulación de hielo o agua sobre las superficies conductoras de estas estructuras puede dar como resultado unas condiciones operativas ineficientes o inseguras. Por ejemplo, la acumulación de hielo en las alas de las aeronaves puede dar como resultado un deterioro de la sustentación y una resistencia aerodinámica aumentada.

- 20 Muchas de estas estructuras no tienen sistemas de calentamiento o tienen sistemas de calentamiento que requieren usar aparatos electrónicos, u otros equipos, de carácter voluminoso. El uso de tales dispositivos voluminosos plantea un desafío para la industria.

- 25 El documento EP 1826119 A2 describe un calentador compuesto de protección frente a hielo para una aeronave. El calentador compuesto incluye al menos una capa eléctricamente aislante y al menos un elemento calentador eléctrico que comprende una capa eléctricamente conductora enlazada a la capa aislante. El documento GB 2438389 A describe un sistema de calentamiento estratificado para calentar un componente de borde de ataque de una aeronave. El sistema incluye una capa de calentamiento retirable y una capa para adherir de forma retirable la capa de calentamiento al componente de borde de ataque. El documento US 5361183 A describe un circuito eléctrico que proporciona protección frente a defectos a masa compensando la corriente de fuga capacitiva entre un sistema de deshielo electrotérmico enlazado a una superficie de aeronave. Se interpone una pantalla conductora entre el elemento calentador resistivo del sistema de deshielo y la superficie de aeronave puesta a masa para controlar la trayectoria de la corriente de fuga capacitiva. El documento US 2002/092849 A1 describe un campo eléctrico alterno que se aplica en una superficie de separación con hielo para generar una corriente de CA resistiva que tiene una frecuencia mayor que 1000 Hz en el hielo de la superficie de separación. El documento US 2018/215476 A1 describe un sistema y método para antihelar y deshelar una aeronave que incluye un revestimiento eléctricamente conductor, un circuito eléctrico que tiene uno o más hilos conductores eléctricos, una unidad de control, una pluralidad de sensores de temperatura conectados a la unidad de control, y una pluralidad de sensores de detección de hielo conectados a la pluralidad de sensores de temperatura y a la unidad de control.

40 **Sumario**

- 45 La invención se define en las reivindicaciones. Esta memoria descriptiva describe tecnologías para calentar una superficie conductora. Estas tecnologías generalmente implican el uso de señales de corriente eléctrica alterna ("CA") de frecuencia superior (por ejemplo, por encima de 1 kHz) para conformar la densidad de corriente en un área objetivo de un medio conductor volumétrico (por ejemplo, material conductor), dando como resultado un calentamiento por efecto Joule del medio. El calentamiento por efecto Joule, también conocido como calentamiento óhmico o calentamiento resistivo, es el proceso mediante el cual el paso de una corriente eléctrica a través de un conductor produce calor. La cantidad de calor generado por un medio conductor se basa en la cantidad de corriente que se pasa a través del medio y en la resistencia eléctrica del medio. En consecuencia, el calentamiento puede controlarse (por ejemplo, aumentarse o disminuirse) ajustando la corriente, el voltaje, la resistencia o una combinación de los mismos.

- 55 La resistencia de un conductor dado puede aumentarse restringiendo el volumen dentro del conductor en el que puede fluir la corriente y aumentando la longitud a lo largo de la cual fluye la corriente. Las implementaciones de la presente divulgación pueden configurarse para producir un calentamiento en un medio volumétrico manipulando mecanismos para conformar (por ejemplo, constreñir, alargar, etc.) una corriente dentro de un medio conductor (por ejemplo, un medio volumétrico, un conductor): por ejemplo, usando el efecto pelicular y el efecto de proximidad. Ambos efectos se basan hacer discurrir una corriente de CA de frecuencia alta a través del medio conductor que va a calentarse. El efecto pelicular restringe el flujo de corriente aprovechando la tendencia de una corriente eléctrica alterna a volverse distribuida dentro de un conductor de tal modo que la densidad de corriente aumenta cerca de la superficie del conductor y disminuye con unas profundidades mayores en el conductor. El efecto de proximidad puede usarse para restringir adicionalmente el flujo de corriente en el conductor colocando otra trayectoria de corriente de CA cerca de la corriente existente que fluye en el conductor. El efecto de proximidad también puede actuar para alargar la trayectoria de corriente.

65

Por ejemplo, las implementaciones de la presente divulgación están configuradas para aumentar la resistencia de un medio volumétrico a lo largo de una trayectoria de corriente a través del medio construyendo el flujo de corriente a lo largo de la trayectoria. En consecuencia, las implementaciones pueden proporcionar un desempeño de calentamiento aumentado en medios conductores mientras se permite, al mismo tiempo, una reducción en la corriente requerida para producir el calor. Es decir, aumentando la resistencia eficaz de un medio conductor a lo largo de una trayectoria de corriente particular, puede requerirse menos corriente para producir un calentamiento por efecto Joule en el medio de lo que se requeriría de otra forma.

En general, en un primer aspecto, un sistema para calentar un medio volumétrico incluye dos o más electrodos separados entre sí y acoplados al medio volumétrico; y un sistema de control de potencia acoplado a los electrodos, configurado el sistema de control de potencia para producir una resistencia eficaz del medio volumétrico a lo largo de una trayectoria de corriente entre los electrodos conformando una densidad de la corriente en el medio volumétrico, en el que el sistema de control de potencia conforma la densidad de la corriente dentro de una profundidad del medio volumétrico sintonizando una profundidad de penetración de la corriente a lo largo de la trayectoria de corriente, y en el que el sistema de control de potencia conforma la densidad de la corriente en una dirección transversalmente a la trayectoria de corriente mediante el sistema de control de potencia sintonizando un efecto de proximidad de la corriente.

Un segundo aspecto general puede materializarse en un sistema para calentar un medio volumétrico incluye dos o más electrodos separados entre sí y acoplados al medio volumétrico; y un sistema de control de potencia acoplado a los electrodos, configurado el sistema de control de potencia para calentar el medio volumétrico conformando una densidad de la corriente a lo largo de una trayectoria de corriente entre los electrodos, produciendo de ese modo una resistencia eficaz a lo largo de la trayectoria de corriente en el medio volumétrico que es mayor que la resistencia del medio volumétrico a una corriente continua (CC), en el que el sistema de control de potencia conforma la densidad de la corriente dentro de una profundidad del medio volumétrico sintonizando una profundidad de penetración de la corriente, y en el que el sistema de control de potencia conforma la densidad de la corriente en una dirección transversalmente a la trayectoria de corriente mediante el sistema de control de potencia sintonizando un efecto de proximidad de la corriente.

Un tercer aspecto general puede materializarse en un sistema que incluye dos o más electrodos configurados para acoplarse a un medio volumétrico; y un sistema de control de potencia configurado para acoplarse a los electrodos y para calentar el medio volumétrico conformando una densidad de corriente a lo largo de una trayectoria de corriente a través del medio volumétrico entre los electrodos, produciendo de ese modo una resistencia eficaz a lo largo de la trayectoria de corriente que es mayor que la resistencia del medio volumétrico a una corriente de CC, en el que el sistema de control de potencia conforma la densidad de la corriente dentro de una profundidad del medio volumétrico sintonizando una profundidad de penetración de la corriente, y en el que el sistema de control de potencia conforma la densidad de la corriente en una dirección transversalmente a una porción de la trayectoria de corriente mediante el sistema de control de potencia sintonizando un efecto de proximidad de la corriente.

Un cuarto aspecto general puede materializarse en un sistema que incluye dos o más electrodos separados entre sí y acoplados a un medio volumétrico; un sistema de control de potencia acoplado a los electrodos y configurado para generar una señal de corriente de CA a lo largo de una trayectoria de corriente a través del medio volumétrico entre los electrodos a una frecuencia mayor que 1 kHz y menor que 300 GHz; y una segunda trayectoria de corriente situada cerca de una superficie del medio volumétrico y a lo largo de la trayectoria de corriente a través del medio volumétrico.

Un quinto aspecto general puede materializarse en un sistema de calentamiento que incluye dos o más electrodos separados entre sí y acoplados a un medio volumétrico; un sistema de control de potencia acoplado a los electrodos y configurado para generar una señal de corriente de CA a lo largo de una trayectoria de corriente a través del medio volumétrico para calentar el medio volumétrico; y una red de ajuste de impedancia (IAN) acoplada entre el sistema de control de calentamiento y los electrodos y configurada para ajustar una impedancia del sistema de control de calentamiento para corresponder con una impedancia del medio volumétrico.

Un sexto aspecto general puede materializarse en un sistema de calentamiento que incluye dos o más electrodos separados entre sí y acoplados a un medio volumétrico, incluyendo cada uno de los dos o más electrodos un material que es al menos tan eléctricamente conductor como el medio volumétrico, y acoplándose al medio volumétrico de una forma que reduce una resistencia de contacto entre el electrodo y el medio volumétrico; y un sistema de control de potencia configurado para acoplarse a los electrodos, configurado el sistema de control de potencia para calentar el medio volumétrico conformando una densidad de corriente a lo largo de una trayectoria de corriente a través del medio volumétrico entre los electrodos, produciendo de ese modo una resistencia eficaz a lo largo de la trayectoria de corriente que es mayor que la resistencia del medio volumétrico a una corriente de CC, en el que el sistema de calentamiento conforma la densidad de la corriente sintonizando una profundidad de penetración a lo largo de la trayectoria de corriente.

Un séptimo aspecto general puede materializarse en un sistema de deshielo de aeronave que incluye dos o más electrodos separados entre sí y acoplados a una porción de una aeronave; un sistema de control de potencia acoplado a los electrodos y configurado para calentar el medio volumétrico conformando una densidad de corriente a lo largo de una trayectoria de corriente a través del medio volumétrico entre los electrodos al: generar una señal de corriente

de CA a lo largo de una trayectoria de corriente a través de la porción de la aeronave entre los electrodos y a una frecuencia entre 1 MHz y 50 MHz, en el que la frecuencia hace que la densidad de la corriente se conforme en una primera dirección sintonizando una profundidad de penetración de la corriente a lo largo de la trayectoria de corriente; y proporcionar una segunda trayectoria de corriente situada a lo largo de al menos una porción de la trayectoria de corriente a través de la porción de la aeronave y dentro de una proximidad de 10 cm de una superficie de la porción de la aeronave, en el que la proximidad de la segunda trayectoria de corriente a la superficie de la porción de la aeronave hace que la densidad de la corriente se conforme en una segunda dirección diferente sintonizando un efecto de proximidad de la corriente a lo largo de la porción de la trayectoria de corriente.

Un octavo aspecto general puede materializarse en un sistema para calentar una superficie exterior de un medio volumétrico. El sistema incluye dos o más tiras de acoplamiento separadas entre sí y unidas al medio volumétrico. Cada una de las tiras de acoplamiento tiene una estructura de múltiples capas que se extiende a lo largo de una superficie del medio volumétrico que forma, en combinación con el medio volumétrico, una línea de transmisión eléctrica. La estructura de múltiples capas incluye una primera capa dieléctrica sobre el medio volumétrico, una capa conductora sobre la primera capa dieléctrica, una segunda capa dieléctrica sobre la capa conductora y una capa de apantallamiento conductora sobre la segunda capa dieléctrica. Un sistema de control de potencia se acopla a la capa conductora de cada una de las tiras de acoplamiento y al medio volumétrico. El sistema de control de potencia está configurado para calentar la superficie del medio volumétrico proporcionando corriente eléctrica a las tiras de acoplamiento. En diversas implementaciones, el medio volumétrico puede ser un recubrimiento de aeronave, una pala de turbina eólica, un techo de un edificio o vías de ferrocarril.

Un noveno aspecto general puede materializarse en un sistema para calentar una parte exterior de una estructura, en donde la estructura se hace de un material no conductor. La estructura incluye un material conductor volumétrico embebido en la misma. El sistema incluye dos o más tiras de acoplamiento separadas entre sí y unidas a la estructura. Cada una de las tiras de acoplamiento tiene una estructura de múltiples capas que se extiende a lo largo de la estructura que forma, en combinación con el material conductor volumétrico embebido dentro de la estructura, una línea de transmisión eléctrica. La estructura de múltiples capas incluye una capa conductora que se superpone al material conductor volumétrico, y una primera capa dieléctrica entre el material conductor volumétrico y la primera capa conductora. El sistema de control de potencia se acopla a la capa conductora de cada una de las tiras de acoplamiento y a la estructura. El sistema de control de potencia está configurado para calentar la superficie de la estructura proporcionando corriente eléctrica a las tiras de acoplamiento. En diversas implementaciones, la estructura puede ser un recubrimiento de aeronave, una pala de turbina eólica, un techo de un edificio o vías de ferrocarril.

Un décimo aspecto general puede materializarse en un método para instalar un sistema de calentamiento de medio volumétrico. El método incluye obtener tiras de acoplamiento, en donde cada tira de acoplamiento comprende una estructura de múltiples capas que incluye una primera capa dieléctrica, una capa conductora que se superpone a la primera capa dieléctrica, una capa de apantallamiento conductora que se superpone a la capa conductora y una segunda capa dieléctrica entre la capa conductora y la capa de apantallamiento conductora. El método incluye unir cada una de las tiras de acoplamiento a una superficie de un medio volumétrico y separadas entre sí con la primera capa dieléctrica de cada tira de acoplamiento situada entre el medio volumétrico y la capa conductora. El método incluye acoplar la capa conductora de cada una de las tiras de acoplamiento a un sistema de control de potencia que está configurado para proporcionar corriente eléctrica a las tiras de acoplamiento. En diversas implementaciones, el medio volumétrico comprende un recubrimiento de aeronave, una pala de turbina eólica, un techo de un edificio o vías de ferrocarril.

La materia objeto descrita en esta memoria descriptiva puede implementarse para lograr una o más de las siguientes ventajas. Puede usarse un sistema eléctrico más liviano y menos voluminoso para calentar un conductor. Además, el calentamiento puede localizarse en el área objetivo y no sobrecalentar la circuitería del sistema de calentamiento. El sistema de calentamiento puede ser más eficiente, por ejemplo, generando calor directamente en un medio volumétrico (por ejemplo, un ala de aeronave) en lugar de generar calor en un elemento de calentamiento o una capa de calentamiento unida al medio volumétrico. El sistema también puede usar menos corriente y voltaje para el calentamiento, mejorando potencialmente la seguridad y la fiabilidad. En algunas implementaciones, también puede reducirse el esfuerzo de componente. El sistema puede ser más fácil, más rápido o más económico de instalar o de adaptar retroactivamente. El sistema puede ser más económico o más fácil de mantener. El sistema puede ser no invasivo cuando se adapta retroactivamente a sistemas existentes. El sistema puede ser más rápido desheliendo.

Los detalles de una o más implementaciones de la materia objeto de esta memoria descriptiva se exponen en los dibujos adjuntos y en la descripción a continuación. Otras características, aspectos y ventajas de la materia objeto se volverán evidentes a partir de la descripción, los dibujos y las reivindicaciones.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama esquemático de una estructuración ilustrativa para calentar un medio volumétrico.

Las figuras 2A-2B son diagramas esquemáticos que ilustran una estructuración ilustrativa para calentar un medio volumétrico que utiliza el efecto pelicular para concentrar una densidad de corriente en una primera dirección en un conductor volumétrico.

5 La figura 3 es una representación gráfica que muestra la concentración aumentada de densidad de corriente como una función de una corriente de CA aplicada debido al efecto pelicular.

10 Las figuras 4A-D son diagramas esquemáticos que ilustran estructuraciones ilustrativas para calentar un medio volumétrico que utilizan el efecto de proximidad para concentrar una densidad de corriente en una segunda dirección en un conductor volumétrico.

15 Las figuras 5A-B son unas gráficas de simulación que muestran la concentración aumentada de densidad de corriente en un conductor volumétrico cerca de un segundo conductor como una función de la distancia entre los conductores debido al efecto de proximidad.

La figura 6A es un diagrama esquemático de una estructuración ilustrativa para calentar un medio volumétrico usando una agrupación de electrodos.

20 Las figuras 6B-D son diagramas esquemáticos de estructuraciones ilustrativas para calentar un medio volumétrico usando diversas disposiciones de electrodos.

25 La figura 7 es un diagrama esquemático de una unidad de transformación de señales ("STU") ilustrativa, que incluye las subunidades principales de transformación en potencia normalizada ("TSP") y de generación de CA ("ACG").

La figura 8 es un diagrama esquemático de una STU ilustrativa, que incluye una TSP, una ACG y unas subunidades principales de control.

30 La figura 9A es un diagrama esquemático de una subunidad de TSP ilustrativa, que incluye un convertidor de transferencia indirecta y una inductancia de alisado de modo común.

La figura 9B es un diagrama esquemático de un convertidor de transferencia indirecta ilustrativo.

35 La figura 10A es un diagrama esquemático de una subunidad de ACG ilustrativa, que incluye un amplificador de clase D con transistores MOSFET duales, un oscilador de cuarzo controlado por temperatura ("TCXO") y un accionador de puerta.

La figura 10B es un diagrama esquemático de un amplificador de modo de conmutación de clase D ilustrativo.

40 La figura 10C es un diagrama esquemático de una subunidad de ACG ilustrativa, que incluye un amplificador de clase D con transistores MOSFET duales, un TCXO, un accionador de puerta y una fase de conversión de potencia baja ("LPC").

45 La figura 11 es un diagrama esquemático de una subunidad de control ilustrativa, que incluye un microcontrolador y una LPC.

La figura 12 es un diagrama de una red de ajuste de impedancia entre una fuente y una carga.

50 Las figuras 13A-D son diagramas esquemáticos de bloques componentes de red de ajuste de impedancia ilustrativos.

La figura 14 es un diagrama esquemático de una unidad de red de ajuste ilustrativa, que incluye una subunidad de ajuste pasivo.

55 La figura 15A es un diagrama esquemático de una unidad de red de ajuste ilustrativa, que incluye una subunidad de ajuste activo y una subunidad de control.

60 La figura 15B es un diagrama esquemático de una unidad de red de ajuste ilustrativa, que incluye una subunidad de ajuste activo, una LPC y una subunidad de control.

La figura 16 es un diagrama esquemático de fases de cables en un sistema de calentamiento ilustrativo.

La figura 17 es un diagrama esquemático de un electrodo ilustrativo para un sistema de calentamiento.

65 La figura 18A es un diagrama esquemático de una unión de junta por soldadura fuerte ilustrativa entre el electrodo y el medio volumétrico.

La figura 18B es un diagrama esquemático de una unión de sujeción de remaches ilustrativa entre el electrodo y el medio volumétrico.

5 La figura 18C es un diagrama esquemático de una unión de cinta de sellado estanco ilustrativa entre el electrodo y el medio volumétrico.

La figura 18D es un diagrama esquemático de una unión combinatoria ilustrativa entre el electrodo y el medio volumétrico.

10 La figura 19 es una vista en sección transversal de una tira de acoplamiento ilustrativa para proporcionar señales de calentamiento de frecuencia alta a un medio volumétrico de acuerdo con implementaciones de la presente divulgación.

15 La figura 20 representa una distribución ilustrativa de tiras de acoplamiento de la figura 19 sobre un ala de aeronave.

La figura 21 representa una vista superior de varias tiras de acoplamiento ilustrativas para ilustrar diversas configuraciones de la capa conductora dentro de una tira de acoplamiento.

20 La figura 22A representa una representación gráfica de la densidad de corriente simulada generada en un recubrimiento de aeronave por una tira de acoplamiento ilustrativa y la densidad de campo eléctrico entre la tira de acoplamiento y el recubrimiento de aeronave.

25 La figura 22B representa una representación gráfica de la densidad de corriente simulada generada en el recubrimiento de aeronave representado en la figura 22A.

La figura 23 representa diagramas de distribución de varias disposiciones de capa conductora ilustrativas dentro de una tira de acoplamiento.

30 La figura 24A representa una vista en sección transversal de una tira de acoplamiento de acuerdo con la distribución A de la figura 23 tomada en A-A'.

35 La figura 24B representa una vista en sección transversal de una tira de acoplamiento de acuerdo con la distribución B de la figura 23 tomada en B-B'.

La figura 24C representa una vista en sección transversal de una tira de acoplamiento de acuerdo con la distribución C y la distribución D de la figura 23 tomada en C-C'.

40 La figura 25A representa una vista en sección transversal de una configuración ilustrativa para unir una tira de acoplamiento a un medio volumétrico.

La figura 25B representa una vista en sección transversal de otra configuración ilustrativa para unir una tira de acoplamiento a un medio volumétrico.

45 La figura 26A es una vista en sección transversal de una tira de acoplamiento con una capa de debajo adhesiva de doble cara antes de la instalación sobre un medio volumétrico; la figura 26B es una vista en sección transversal de la tira de acoplamiento de la figura 26A instalada sobre un medio volumétrico.

50 Las figuras 27A-27F representan vistas en sección transversal de diversas implementaciones de tiras de acoplamiento embebidas.

La figura 28 representa diagramas de implementaciones de conector de tira de acoplamiento.

55 La figura 29 representa diagramas de otra implementación de un conector de tira de acoplamiento.

La figura 30 es un diagrama de bloques de un primer sistema de calentamiento de medio volumétrico ilustrativo que utiliza unas tiras de acoplamiento de acuerdo con implementaciones de la presente divulgación.

60 La figura 31 es un diagrama de bloques de un segundo sistema de calentamiento de medio volumétrico ilustrativo que utiliza unas tiras de acoplamiento de acuerdo con implementaciones de la presente divulgación.

La figura 32 es un diagrama de bloques de un tercer sistema de calentamiento de medio volumétrico ilustrativo que utiliza unas tiras de acoplamiento de acuerdo con implementaciones de la presente divulgación.

65 Designaciones y números de referencia semejantes en los diversos dibujos indican elementos semejantes.

Descripción detallada

El sistema de calentamiento de la presente memoria descriptiva usa corrientes de CA para aumentar la resistencia eléctrica eficaz de materiales conductores (por ejemplo, materiales compuestos de fibra de carbono, aluminio) para calentar más fácilmente los mismos. En general, el calor generado en el material conductor puede usarse para derretir hielo que se ha formado sobre la superficie del material conductor. El calor también puede usarse para mantener materiales conductores a una temperatura elevada para evitar la deposición en estado de vapor sobre la superficie, o para evitar que se congele agua sobre la superficie, así como para evitar que una precipitación helada (por ejemplo, nieve, bolitas de hielo, niebla), lluvia helada) se acumule sobre la superficie. Por ejemplo, el calor generado en el material conductor puede conducirse (por ejemplo, propagarse) por todo el material conductor. Además, el calor generado puede provocar convección transversalmente a la superficie de separación entre el material conductor y cualquier líquido sobre la superficie para, por ejemplo, calentar el líquido y evitar que se congele.

Pueden utilizarse corrientes alternas para inducir un número de efectos electromagnéticos que aumentan la resistencia eficaz de un material conductor, facilitando de ese modo la generación de calor usando un calentamiento por efecto Joule en el material conductor. Tales efectos incluyen el efecto pelicular, el efecto de proximidad, inducción, corrientes parásitas, pérdidas por histéresis y pérdidas dieléctricas. Con el efecto pelicular, si la frecuencia de la corriente en un conductor se establece a un valor suficientemente alto, la mayor parte de la corriente pasará a través de una profundidad de penetración del material conductor que es significativamente menor que el espesor geométrico del material conductor. Además, pueden usarse geometrías de dispositivo específicas para generar el efecto de proximidad dentro del material conductor, lo que restringirá adicionalmente la anchura de la densidad de corriente, aumentando de ese modo adicionalmente la resistencia eficaz a lo largo de una trayectoria de corriente dentro del material conductor. Tomados en conjunto, estos dos efectos pueden usarse para aumentar la resistencia eléctrica del material conductor y dar como resultado un calentamiento por efecto Joule.

Por ejemplo, calentamiento por efecto Joule se refiere generalmente al calor producido haciendo pasar una corriente eléctrica a través de un conductor. El calor generado en un conductor que porta corriente dado es proporcional a la resistencia del material multiplicada por el valor cuadrático medio de la amplitud de la corriente al cuadrado:

$$P \propto I^2 R$$

La salida de calor de un elemento de calentamiento se aumenta generalmente aumentando la corriente que se pasa a través de un conductor y teniendo elementos de calentamiento de resistencia relativamente superior. Sin embargo, las implementaciones de la presente divulgación generan un calentamiento por efecto Joule aprovechando fenómenos electromagnéticos particulares (por ejemplo, el efecto pelicular y el efecto de proximidad) para constreñir la densidad de corriente de una corriente localizada dentro de un medio volumétrico. Esta constricción en la densidad de corriente produce una resistencia eficaz aumentada a lo largo de la trayectoria de la corriente dentro del medio volumétrico. Aunque los efectos específicos pueden variar en diferentes materiales y con diferentes geometrías, la resistencia eficaz para una longitud dada a lo largo de la trayectoria de corriente a través de un medio volumétrico generalmente puede representarse como:

$$R_{efic} \propto \rho \frac{l}{A_{efic}},$$

en donde ρ representa la resistividad del material a través del cual fluye la corriente, l representa la longitud de la trayectoria de corriente, y A_{efic} representa el área en sección transversal constreñida de la densidad de corriente. Las implementaciones de la presente divulgación usan los fenómenos electromagnéticos para reducir A_{efic} a un área menor que la sección transversal del medio volumétrico a lo largo de la trayectoria de la corriente, aumentando de ese modo la resistencia eficaz del medio volumétrico por encima de la del medio volumétrico a una corriente de CC.

Algunas implementaciones de la presente divulgación pueden usar estos fenómenos electromagnéticos para aumentar la longitud de una trayectoria de corriente a través del medio volumétrico. Por ejemplo, como se describe con referencia a la figura 4D a continuación, las técnicas descritas en el presente documento pueden usarse para "orientar" la trayectoria de corriente a lo largo de una ruta no directa (por ejemplo, una trayectoria serpenteante) entre dos electrodos unidos al medio volumétrico. La ruta no directa puede crear una trayectoria de corriente que tiene una longitud eficaz (l_{efic}) que es más larga que una trayectoria sustancialmente recta que generalmente se produciría al hacer pasar una corriente entre los dos electrodos en ausencia de efectos electromagnéticos tales como el efecto de proximidad, por ejemplo. Por lo tanto, los sistemas descritos en el presente documento pueden aumentar la longitud de la trayectoria de corriente l a una longitud eficaz (l_{efic}) que es más larga que una trayectoria directa que tomaría la corriente en ausencia de los diversos sistemas y disposiciones de conductores descritos en el presente documento. En consecuencia, tales implementaciones pueden aumentar la resistencia eficaz (R_{efic}) tanto constreñiendo el área en sección transversal eficaz (A_{efic}) de una corriente que fluye a través de un medio volumétrico como también aumentando la longitud eficaz (l_{efic}) que recorre la corriente a través del medio volumétrico, aumentando de ese modo

adicionalmente la resistencia eficaz del medio volumétrico por encima de la del medio volumétrico a una corriente de CC. En tales implementaciones, la resistencia eficaz puede representarse generalmente como:

$$R_{efic} \propto \rho \frac{l_{efic}}{A_{efic}}.$$

A través del uso de tales técnicas, las implementaciones de la presente divulgación pueden producir resistencias localizadas altas en materiales volumétricos conductores (por ejemplo, aluminio, cobre, acero y aleaciones de los mismos).

Efecto pelicular, como se usa en el presente documento, se refiere generalmente a la tendencia de una corriente eléctrica alterna a distribuirse de manera no uniforme en un conductor, de tal modo que la densidad de corriente es más grande cerca de la superficie del conductor y disminuye a medida que aumenta la distancia a la superficie del conductor. La intensidad del efecto pelicular aumenta con la frecuencia de la corriente y con la conductividad del material que porta la corriente. Algunas implementaciones de la presente divulgación pueden sintonizar el efecto pelicular para hacer que la corriente eléctrica fluya más en la superficie exterior del conductor (por ejemplo, "profundidad de penetración") a frecuencias de CA superiores.

En general, el efecto pelicular en un conductor puede representarse mediante la siguiente fórmula:

$$J = J_s e^{-(1+j)d/\delta} \quad \text{con} \quad \delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}} \sqrt{\sqrt{1+(\rho\omega\epsilon)^2} + \rho\omega\epsilon}$$

en donde J es la densidad de corriente, J_s es la densidad de corriente superficial, d es la profundidad del punto en donde se calcula la densidad de corriente, δ es la profundidad de penetración, ρ es la resistividad del conductor, ω es la frecuencia angular de la corriente, μ es la permeabilidad magnética del conductor, ϵ es la permitividad del conductor. En el caso de un conductor cilíndrico con un radio base R, la densidad de corriente puede calcularse adicionalmente como:

$$J = J_s \frac{J_0\left(\sqrt{\frac{-j\omega\mu}{\rho}}(R-d)\right)}{J_0\left(\sqrt{\frac{-j\omega\mu}{\rho}}R\right)}$$

en donde J_0 es la función de Bessel de primera especie y de orden 0.

En el caso de una placa rectangular, infinitamente larga y ancha sobre la que fluye una corriente superficial, el efecto pelicular puede representarse mediante la siguiente fórmula:

$$J = J_s \frac{sh(\sqrt{j\omega\sigma\mu}d)}{sh(\sqrt{j\omega\sigma\mu}e)}$$

en donde J_s es la corriente superficial forzada, σ es la conductividad de la placa, e es el espesor de la placa y sh es la función seno hiperbólico. Por ejemplo, el gráfico mostrado en la figura 3, y analizado con más detalle a continuación, ilustra un ejemplo de constricción de densidad de corriente dentro de la profundidad del material (por ejemplo, profundidad de penetración) en un conductor cilíndrico que es provocada por el efecto pelicular. Como se ha detallado anteriormente, tal constricción de la sección transversal eficaz aumenta la resistencia eficaz del conductor.

Por ejemplo, el gráfico mostrado en la figura 3, y analizado con más detalle a continuación, ilustra un ejemplo de constricción de densidad de corriente dentro de la profundidad del material (por ejemplo, profundidad de penetración) que es provocada por el efecto pelicular.

Efecto de proximidad, como se usa en el presente documento, se refiere generalmente al efecto de la corriente de CA que fluye en una primera trayectoria de corriente (por ejemplo, un conductor) sobre la densidad de corriente de una corriente de CA que fluye en una segunda trayectoria de corriente cercana. Por ejemplo, como se muestra en las figuras 5A-5B y se describe con más detalle a continuación, la corriente de CA en la primera trayectoria de corriente hace que la densidad de la corriente de CA en la segunda trayectoria de corriente se "aglomere" o se constriña alrededor de la primera trayectoria de corriente. En implementaciones de la presente divulgación, por ejemplo, se "tira" de la densidad de una corriente que pasa a través de un medio volumétrico hacia otro conductor que porta una corriente de CA cuando el conductor se coloca cerca de la corriente que pasa a través del medio volumétrico. El grado

y la dirección de la constricción de densidad (por ejemplo, aglomeración) de corriente provocados por el efecto de proximidad dependen de varias variables que incluyen, por ejemplo, la distancia entre dos o más trayectorias de corriente de CA, el sentido de desplazamiento de corriente en las trayectorias de corriente individuales una en relación con otra, las frecuencias de las corrientes de CA en las trayectorias de corriente y la magnitud de las corrientes individuales en las trayectorias de corriente.

Deshielo, como se usa en el presente documento, se refiere generalmente a la retirada de nieve, hielo o escarcha (denominados colectivamente "hielo") de una superficie. En algunas implementaciones, el sistema de calentamiento puede derretir solo una porción de hielo existente sobre una superficie conductora. El hielo se retiraría entonces de la superficie (por ejemplo, deslizándose fuera de la superficie una vez que se haya iniciado el proceso de derretimiento y se haya roto el enlace entre hielo y superficie).

Antihielo, como se usa en el presente documento, se refiere generalmente a la prevención de la formación o la adherencia de nieve, hielo o escarcha (denominados colectivamente "hielo") a una superficie. En algunas implementaciones, el sistema de calentamiento mantiene la temperatura de superficie lo bastante alta como para evitar que se forme hielo sobre la superficie y evitar la acumulación o formación de hielo (por ejemplo, procedente de precipitaciones heladas tales como nieve, escarcha, bolitas de hielo, lluvia helada, etc.).

La figura 1 muestra un diagrama de bloques de un sistema de calentamiento 100 de ejemplo para calentar un medio volumétrico. El sistema de calentamiento 100 incluye el sistema de control de potencia 104 acoplado a los electrodos 116 y 118. Los electrodos 116 y 118 se acoplan a un área objetivo del medio volumétrico 102 (por ejemplo, parte de un ala de aeronave). El sistema de control de potencia 104 genera corriente alterna (corriente de CA) (por ejemplo, de unas frecuencias de 1 kHz o superiores) de lado a lado de un circuito cerrado a través del hilo (o la trayectoria o el cable) 106, el medio volumétrico 102 y, por último, el hilo (o la trayectoria de retorno) 108. El sentido de la corriente 112 a través de los hilos se indica mediante una flecha de trazo discontinuo.

En algunas implementaciones, el sistema de calentamiento 100 puede incluir, pero sin limitación, el sistema de control de potencia 104, los electrodos 116 y 118 y unos cables especializados (por ejemplo, los hilos 108 y 106). En algunas implementaciones, el sistema de calentamiento está configurado para acoplarse a los electrodos 116 y 118. En algunas implementaciones, el sistema de calentamiento está configurado para acoplarse a unos cables especializados (por ejemplo, 108 o 116). En algunas implementaciones, el sistema de control de potencia 104 puede incluir, pero sin limitación, una unidad de generación de señales, una fuente de alimentación, una unidad de transformación de señales, una red de ajuste de impedancia, una unidad de control y sensores, con configuraciones específicas descritas con más detalle a continuación. Como se detalla a continuación, en algunas implementaciones, la red de ajuste de impedancia es una red de adaptación de impedancia.

En algunas implementaciones, los electrodos 116 y 118 son electrodos de contacto. Por ejemplo, los electrodos 116 y 118 se conectan físicamente al medio volumétrico 102 para conducir corriente eléctrica desde el sistema de control de potencia 104 al medio volumétrico. En algunas implementaciones, los electrodos 116 y 118 pueden acoplarse al medio volumétrico 102 pero aislarse eléctricamente del medio volumétrico 102. Por ejemplo, en tales implementaciones, los electrodos 116 y 118 pueden ser la entrada y la salida de una bobina de inducción que se sitúa cerca del medio volumétrico 102 para inducir magnéticamente una corriente en el medio volumétrico 102.

El sistema de control de potencia 104 puede suministrar corriente a una frecuencia suficientemente alta (por ejemplo, por encima de 1 kHz) para constreñir el flujo de corriente en la dirección z entre los electrodos 116 y 118 sintonizando el efecto pelicular, dando como resultado una resistencia superior del medio volumétrico 102. Por ejemplo, el sistema de control de potencia 104 puede proporcionar corriente de CA a una frecuencia entre 1 kHz y 300 GHz. En algunas implementaciones, la frecuencia de corriente está entre 10 kHz y 30 GHz. En algunas implementaciones, la frecuencia de corriente está entre 100 kHz y 450 MHz. En algunas implementaciones, la frecuencia de corriente está en un rango de 1 MHz - 50 MHz, 100 MHz - 150 MHz, 200 MHz - 300 MHz, 400 MHz - 500 MHz u 800 MHz - 1 GHz.

En algunas implementaciones, la trayectoria de retorno 108 se dispone muy cerca de la superficie del medio volumétrico 102. La proximidad de la trayectoria de retorno 108 a la superficie del medio volumétrico puede usarse para sintonizar el efecto de proximidad de la corriente que fluye entre los electrodos 116 y 118 y, por lo tanto, constreñir adicionalmente la corriente y aumentar el calentamiento dentro del medio volumétrico. Para aprovechar el efecto de proximidad para conformar la corriente que fluye entre los electrodos 116 y 118, no es necesario usar la trayectoria de corriente de retorno 108 desde el propio circuito del sistema de calentamiento. En algunas implementaciones, otra trayectoria de corriente 122 (por ejemplo, a partir de un circuito diferente) puede colocarse muy cerca (por ejemplo, a la distancia 120a) del medio volumétrico 102. Por ejemplo, cuando la distancia 120 o 120a de la trayectoria de corriente 108 o 122 desde el medio volumétrico 102 es suficientemente pequeña, el efecto de proximidad puede usarse para restringir adicionalmente la corriente a través del medio volumétrico.

Por ejemplo, la distancia 120 (o 120a) entre el medio volumétrico y la trayectoria 108 (o 122) puede ser menor que 1 m o menor que 50 cm o menor que 10 cm para producir un efecto de proximidad. Si son posibles distancias más cortas, con la debida consideración de las restricciones de diseño (por ejemplo, con un ala de avión como medio

volumétrico, en donde la nervadura o el larguero del avión no está en la trayectoria de retorno 108/122), la distancia 120 (o 120a) puede ser menor que 25 cm o menor que 10 cm.

5 El medio volumétrico 102 puede incluir materiales tales como, pero sin limitación, aluminio, aleaciones de metal, materiales compuestos de fibra de carbono, cobre, plata, titanio o acero. Por ejemplo, el medio volumétrico puede ser cualquier parte de una célula de aeronave (por ejemplo, la superficie o cubierta más exterior del avión, también conocida como el "recubrimiento" del avión), tal como el fuselaje, las alas, el tren de aterrizaje, el conjunto de cola, etc.

10 Los electrodos (116 y 118) pueden incluir materiales tales como, pero sin limitación, aluminio, plata, cobre, aleaciones de los mismos u otros materiales conductores. En algunas implementaciones, el material de electrodo es al menos tan eléctricamente conductor como el medio volumétrico 102. En algunas implementaciones, los electrodos 116 y 118 pueden disponerse en agrupaciones de electrodos. Los electrodos pueden acoplarse al medio volumétrico en una diversidad de formas, por ejemplo, a la superficie de arriba o de debajo del medio, o embebidos dentro del medio.

15 El sistema de calentamiento 100 está configurado para producir una resistencia eficaz a través del medio volumétrico 102 conformando la densidad de la corriente a través del medio. En otras palabras, para aplicaciones de aviones, la célula existente del avión se usará como parte del circuito eléctrico del sistema de calentamiento. El sistema de calentamiento 100 conforma la densidad de la corriente sintonizando el efecto pelicular, el efecto de proximidad o una combinación de los mismos para aumentar la resistencia eficaz del medio volumétrico 102 a lo largo de una trayectoria de corriente entre los electrodos 116 y 118. En algunos casos, el efecto de proximidad también se aprovecha para dirigir la trayectoria de corriente, por ejemplo, como se ve en la figura 4D para calentar secciones deseadas del medio volumétrico. Una sección de calor deseada del medio volumétrico puede denominarse "ubicación de calentamiento objetivo" o "ubicación objetivo".

25 En algunas implementaciones, una corriente alterna de frecuencia de 1 kHz o superior puede pasarse directamente a través de una célula del avión. Como resultado, tendrá lugar un calentamiento por efecto Joule en la porción de la célula cerca de la superficie que tiene corriente pasando a través de la misma. Adicionalmente, el calor producido a partir de la corriente se propagará por conducción por todo el medio volumétrico 102.

30 Haciendo referencia a las figuras 2A-2B, el sistema de calentamiento 100 conforma la densidad de corriente a través del área objetivo de medio 102 utilizando el efecto pelicular. Al igual que en la figura 1, se aplica una corriente de CA (en la dirección 212) de uno a otro de los electrodos 116 y 118 a través de un área objetivo del medio volumétrico 102. La figura 2A es un diagrama esquemático que ilustra el perfil (por ejemplo, vista lateral) de la densidad de corriente 202 a través del área objetivo del medio volumétrico 102 sin el efecto pelicular (por ejemplo, con frecuencias de corriente por debajo de 1 kHz). La corriente está discurriendo en la dirección y (212), con la mayor parte de la corriente fluyendo dentro del volumen del medio 102 indicado por las flechas. Por ejemplo, la corriente tiene una profundidad 206 de aproximadamente 2 mm, por ejemplo, casi todo el espesor del medio volumétrico. En este sentido, la figura 2A ilustra un funcionamiento del sistema 100 con poca o ninguna conformación de la densidad de corriente por el efecto pelicular.

40 La figura 2B es un diagrama esquemático de un perfil de densidad de corriente 202 resultante de la aplicación de una corriente de CA de frecuencia superior (por ejemplo, por encima de 1 kHz) de uno a otro de los electrodos. La figura 2B ilustra un funcionamiento del sistema 100 con una conformación de la densidad de corriente por el efecto pelicular. Por ejemplo, debido al efecto pelicular producido accionando el sistema de calentamiento 100 a frecuencias altas, la profundidad de la densidad de corriente 202 que fluye a través del medio volumétrico 102 se constriñe en la dirección z a una región estrecha cerca de la superficie del medio volumétrico 102. Además, la resistencia eficaz del medio volumétrico 102 en la región del flujo de corriente se aumenta lo suficiente de tal modo que puede lograrse un calentamiento por efecto Joule en esta área sin sobrecalentar el resto del circuito (por ejemplo, hilos, fuente de alimentación, inversor, red de ajuste, electrodos). La resistencia eficaz del medio volumétrico a la corriente de CA en el área objetivo puede ser mayor que la resistencia del medio volumétrico a una corriente de CC. Por ejemplo, la resistencia eficaz puede aumentarse dos o más órdenes de magnitud por encima de la resistencia del medio volumétrico a una corriente de CC.

55 La figura 3 es una representación gráfica que muestra la concentración de densidad de corriente (eje y, normalizado a 1) en la profundidad del material (eje x, normalizado a 1) como una función de una corriente de CA aplicada debido al efecto pelicular. La densidad de corriente decrece exponencialmente a lo largo del espesor (dirección z) del medio. A medida que la frecuencia aumenta de 1 kHz a 10 MHz, la densidad de corriente se vuelve más concentrada cerca de la superficie del medio volumétrico. Por lo tanto, cuanto más alta sea la frecuencia, más pronunciado será el decrecimiento. En otras palabras, el efecto pelicular constriñe la densidad de corriente haciendo que la corriente pase a través de una capa delgada cerca de la superficie del medio volumétrico. En consecuencia, también en esta capa tendrá lugar un calentamiento por efecto Joule.

65 La figura 4A es un diagrama esquemático de vista lateral del sistema 400 para utilizar el efecto de proximidad para restringir adicionalmente la densidad de corriente. Al igual que en la figura 1, los electrodos 116 y 118 se unen al medio volumétrico 102 (por ejemplo, el área objetivo en la célula) y pasan una señal de CA (por ejemplo, por encima de 1 kHz) para crear una densidad (o trayectoria) de corriente 410 con una dirección 412 a través del medio. La trayectoria

de retorno 108 se sitúa dentro de una distancia 120 de la trayectoria (o densidad) de corriente 410 en el medio y tiene una dirección 112 diferente de la dirección 412. En algunas implementaciones, la trayectoria de retorno 108 se aísla eléctricamente del medio volumétrico 102. Por ejemplo, la trayectoria de retorno 108 puede ser un hilo o cable situado dentro de la distancia 120 del medio volumétrico 102. La trayectoria de retorno 108 puede ser un hilo o cable que completa un circuito del sistema 400.

Si la trayectoria de retorno 108 está suficientemente cerca de la trayectoria de corriente 410 (por ejemplo, menos de 50 cm), la corriente de CA en la trayectoria de retorno 108 restringe la corriente en la trayectoria de corriente 410 en direcciones transversalmente a la trayectoria del flujo de corriente en la trayectoria de corriente 410. En otras palabras, situar la trayectoria de retorno 108 suficientemente cerca de la trayectoria de corriente 410 hace que se constriña el área en sección transversal del flujo de corriente en la trayectoria de corriente 410. Por ejemplo, con referencia a las figuras 4A-4C, la corriente se constriñe en dos direcciones (por ejemplo, la dirección x y la dirección z como se muestra) entre los electrodos 116 y 118. Por ejemplo, como se muestra en la figura 4D, el efecto de proximidad constriñe la densidad de corriente 410 en la dirección o bien x o bien y dependiendo de la dirección del flujo de corriente. Por ejemplo, en donde la corriente fluye en la dirección x, el efecto de proximidad constriñe la corriente en la dirección y. Por ejemplo, el efecto de proximidad constriñe predominantemente la corriente transversalmente a la dirección del flujo de corriente, mientras que el efecto pelicular constriñe predominantemente la densidad de corriente dentro de la profundidad del medio volumétrico (por ejemplo, en la dirección z, como se muestra en las figuras 2A y 2B). En algunos casos, el efecto de proximidad también puede sumarse a la constricción de la densidad de corriente en la profundidad (por ejemplo, la dirección z) del medio volumétrico 102, por ejemplo, potenciando el efecto pelicular en implementaciones que hacen uso tanto del efecto pelicular como del efecto de proximidad. En algunas implementaciones, el efecto de proximidad también puede usarse para definir la dirección del flujo de corriente a través del medio volumétrico (por ejemplo, la ruta que sigue la corriente a través del medio volumétrico 102).

Las figuras 4B-C son diagramas esquemáticos ilustrativos del sistema 400 como se ve desde arriba. Los electrodos 116 y 118 se unen al área objetivo de medio volumétrico 102 y pasan una señal de CA (por ejemplo, por encima de 1 kHz) para crear una densidad de corriente (o trayectoria de corriente) 410 con la dirección 412 a través del medio. La trayectoria de retorno 108 se sitúa en un plano x-y diferente (línea de puntos) de la trayectoria (o densidad) de corriente 410 en el medio volumétrico 102. En algunas implementaciones, el flujo de corriente en la trayectoria de retorno 108 está en una dirección 112 diferente de la dirección 412 del flujo de corriente en la trayectoria de corriente 410 a través del medio volumétrico 102. Por ejemplo, en algunas implementaciones, la dirección 112 del flujo de corriente en la trayectoria de retorno 108 es opuesta a la dirección 412 del flujo de corriente en la trayectoria de corriente 410. Cuando la distancia 120 de la trayectoria de retorno 108 a la trayectoria de corriente 412 es suficientemente pequeña (por ejemplo, por debajo de 50 cm), la corriente que fluye entre los electrodos 116 y 118 dentro del medio volumétrico 102 se aglomerará cerca del hilo de trayectoria de retorno (por ejemplo, se constreñirá en la dirección y y z) debido al efecto de proximidad, como se muestra en la figura 4C. Cuanto mayor sea la distancia a la que está del medio volumétrico 102 la trayectoria de retorno 108, menos se restringirá la trayectoria de corriente 412 en el medio volumétrico 102, como se muestra en la figura 4B.

La figura 4D es un diagrama esquemático ilustrativo de otra implementación del sistema 450 como se ve desde arriba. Al igual que en el sistema 100 previo, los electrodos 116 y 118 se unen a un área objetivo del medio volumétrico 102. La trayectoria de retorno 108 se sitúa cerca del medio volumétrico 102 y en un plano x-y diferente de la trayectoria de corriente 410 dentro del medio volumétrico 102. La implementación mostrada demuestra cómo puede usarse la trayectoria de retorno 108 (u otra trayectoria de corriente separada) para conformar la trayectoria que sigue la corriente 410 a través del medio volumétrico 102. Por ejemplo, colocando una segunda trayectoria de corriente (por ejemplo, un hilo o cable que porta corriente tal como la trayectoria de retorno 108) cerca del medio volumétrico 102, el efecto de proximidad puede aprovecharse tanto para restringir la anchura de la densidad de corriente transversalmente a la dirección del flujo de corriente como también para conformar la trayectoria de corriente 410 dentro del medio volumétrico 102. La figura 4D también demuestra que el efecto de proximidad restringe la densidad de corriente a lo largo de la trayectoria de corriente 410 transversalmente a la dirección del flujo de corriente. Por ejemplo, en la figura 4D, la densidad de corriente a lo largo de la trayectoria de corriente 410 se restringe en una dirección que es sustancialmente perpendicular a la dirección del flujo de corriente en cada segmento de la trayectoria 410 y la trayectoria de corriente 410 dentro del medio volumétrico 102 se amolda para seguir la forma de la trayectoria de retorno 108. Más específicamente, en la sección A de la trayectoria de corriente 410, la corriente se guía para que fluya a lo largo de la dirección x y la densidad de corriente se constriñe en la dirección y y z. En la sección B de la trayectoria de corriente 410, la corriente se guía para que fluya a lo largo de la dirección y y la densidad de corriente se constriñe en la dirección x y z.

La capacidad de conformar la trayectoria de corriente como geometrías más complejas con el efecto de proximidad, como se muestra en la figura 4D, puede ofrecer un número de ventajas. En primer lugar, tales geometrías de trayectoria pueden usarse para aumentar la longitud de trayectoria de corriente eficaz l . Como se ha descrito anteriormente, una longitud de trayectoria aumentada conduce a una resistencia aumentada y, por lo tanto, a un calentamiento por efecto Joule aumentado. En segundo lugar, las geometrías de trayectoria de corriente pueden configurarse para dirigir el flujo de corriente a ubicaciones estratégicas para su calentamiento. En tercer lugar, las geometrías de trayectoria de corriente pueden usarse para crear áreas de calentamiento aumentado (por ejemplo, puntos calientes) en esquinas agudas de la trayectoria de corriente.

La resistencia eficaz del medio volumétrico a la corriente de CA en el área objetivo debido a la combinación de los efectos de proximidad y pelicular puede ser mayor que la resistencia del medio volumétrico a una corriente de CC. Por ejemplo, la resistencia eficaz puede aumentarse dos o más órdenes de magnitud por encima de la resistencia del medio volumétrico a una corriente de CC.

Las figuras 5A-B son unas gráficas de simulación que muestran la concentración aumentada de densidad de corriente en un área objetivo de conductor volumétrico 102 cerca de un segundo conductor/trayectoria 108 como una función de la distancia 120 entre los conductores debido al efecto de proximidad. La corriente en el conductor volumétrico y la segunda trayectoria son suficientes para provocar un efecto de proximidad (por ejemplo, por encima de 1 kHz o 10 MHz) cuando se reduce la distancia 120. Por ejemplo, cuando la distancia 120 es de 20 cm, la densidad de corriente 410 permanece aproximadamente uniforme en el plano x-y, como se muestra en la figura 5A. Cuando la distancia 120 se reduce a 2 cm, al igual que en la figura 5B, el efecto de proximidad provoca una "aglomeración" o "constricción" de la corriente 410 alrededor de la trayectoria de retorno 108 en el plano x-z. Esto se logra al aglomerarse la mayor parte de la corriente 410 en una tira estrecha a lo largo del conductor volumétrico y seguir la trayectoria del segundo conductor (108) (por ejemplo, la trayectoria de retorno u otros hilos que portan corriente). En otras palabras, la corriente 410 sigue la trayectoria de la menor inductancia, en lugar de propagarse de manera uniforme por todo el medio volumétrico.

En algunas implementaciones, se usa un hilo que no sea la trayectoria de retorno 108 para provocar el efecto de proximidad, mostrado como la trayectoria 122 en la figura 1. En ese caso, las oscilaciones de corriente en ese hilo pueden ser accionadas, o no, por el mismo sistema (por ejemplo, el sistema de control de potencia 104) que las trayectorias 106 y 108. En ese caso, el efecto de proximidad del hilo 122 dependerá de la distancia del hilo 112 desde la trayectoria de corriente 412 en el conductor volumétrico. Exactamente igual que con la trayectoria de retorno 108, puede ser necesario que el hilo 122 esté suficientemente cerca (por ejemplo, por debajo de 50 cm) de la trayectoria 412.

En general, el sistema de control de potencia 104 entrega corriente al medio volumétrico 102 a través de electrodos (por ejemplo, 116 y 118) y conductores eléctricos personalizados (por ejemplo, hilos especializados o cables especializados) para formar un circuito cerrado (véase la figura 1). Estos tres componentes se explicarán con detalle adicional a continuación.

En algunas implementaciones, los electrodos 116 y 118 incluyen una agrupación de electrodos de entrada y de salida, como se muestra en la figura 6A. El sistema de electrodos 600 incluye tres electrodos de entrada 116(1)-(3), que forman una agrupación de electrodos 116, y tres electrodos de salida 118(1)-(3), que forman una agrupación de electrodos 118 y dan como resultado unas trayectorias de corriente 410 adyacentes en el medio volumétrico. El efecto de proximidad debido a la corriente 112 en los hilos de retorno 108 restringe la densidad de corriente 410 en el medio volumétrico, como se ha detallado anteriormente.

En general, pueden usarse diversas geometrías de electrodos para lograr el calentamiento deseado en las áreas objetivo del medio volumétrico 102. Por ejemplo, haciendo referencia a la figura 6B, el sistema 610 muestra dos disposiciones de electrodos 116 y 118 usadas para aplicar una corriente a través del área objetivo 102 del medio volumétrico (con los hilos de entrada/salida 106 y 108). Las disposiciones de electrodos 116 y 118 pueden ser agrupaciones de uno o más electrodos como se muestra en la figura 6A. Las figuras 6C-D son diagramas esquemáticos de otras configuraciones de electrodos, 620 y 630 respectivamente, para calentar la(s) área(s) objetivo 120, por ejemplo, sobre un ala de aeronave. Las disposiciones de electrodos indicadas por 116, 118 y 640 pueden ser electrodos únicos o una agrupación de uno o más electrodos, como se muestra en la figura 6A. A continuación hay detalles adicionales acerca de la forma y el diseño de electrodos.

En algunas implementaciones, el medio volumétrico es el recubrimiento de un avión y las áreas objetivo para el calentamiento incluyen, pero sin limitación, lo siguiente: alas, fuselaje, estabilizadores verticales, estabilizadores horizontales, ventanas, aletas de punta de ala, parabrisas, superficies de control (alergones hipersustentadores, alergones, timón de dirección, timón de profundidad, frenos aerodinámicos, etc.), morro/cono de morro, trenes de aterrizaje, frenos de tren de aterrizaje, puertas de tren de aterrizaje, motores y góndolas de motor, entradas y salidas de CA, respiraderos de depósito de combustible, tubos pitot, accesos estáticos y otras antenas, sensores y luces externas, respiraderos de depósito de combustible, paneles de servicio. En otras palabras, la tecnología propuesta puede implicar la colocación de electrodos en el interior de la célula, en algunos casos, en una o más de las configuraciones mostradas en la figura 6A-D. En algunas implementaciones, el sistema de calentamiento 100 producirá un calentamiento por efecto Joule en porciones del área objetivo y, subsiguientemente, la conducción dentro del material puede dar como resultado un calentamiento más "disperso".

En general, el sistema de control de potencia 104 incluye un sistema de generación de señales que se diseña para generar una señal eléctrica alterna (CA) de frecuencia alta (por ejemplo, por encima de 1 kHz) y enviar la misma a través del área objetivo 102 mencionada anteriormente del medio volumétrico. En algunas implementaciones, en donde la impedancia del área objetivo es baja (en algunos casos, muy por debajo de 1 Ω), el sistema de generación de señales está configurado para generar y sostener un nivel de corriente deseado, para generar un calentamiento

por efecto Joule en el área objetivo. En algunos casos, debido a que las impedancias de otras partes del sistema (por ejemplo, los conductores eléctricos o hilos que transmiten la señal) están por encima de cero, el paso de una corriente alta a través de esas partes generaría un calentamiento por efecto Joule no deseado fuera del área objetivo. Por esa razón, en algunas implementaciones, el sistema de generación de señales se diseña de tal modo que solo se entrega una corriente alta cerca del área objetivo.

En algunas implementaciones, algunos o todos los elementos/unidades del sistema de generación de señales, así como los cables/unidades de conducción que los conectan, se diseñan tal como para reducir tanto como sea posible las pérdidas de potencia no deseadas que tienen lugar habitualmente cuando se transmiten señales electromagnéticas de corriente alta y de frecuencia alta.

En algunas implementaciones, el sistema de generación de señales puede recibir potencia de fuentes de alimentación existentes (por ejemplo, barras colectoras eléctricas existentes en una aeronave). En algunas implementaciones, el sistema usa una batería personalizada o una fuente de alimentación personalizada que es parte del sistema. Por ejemplo, tales fuentes de alimentación personalizadas pueden incluir, pero sin limitación: generadores eléctricos a base de combustible, generadores eléctricos a base de energía solar, generadores eléctricos a base de energía eólica, generadores eléctricos a base de energía de gas, etc. En algunas implementaciones, el sistema de generación de señales puede colocarse en un circuito entre una fuente de alimentación (por ejemplo, una barra colectora eléctrica existente, una batería personalizada, una fuente de alimentación personalizada) y el área objetivo.

Adicionalmente, en algunas implementaciones, el sistema de generación de señales puede incluir circuitos de control y dispositivos que existen como unidades independientes y/o se embeben dentro de una combinación de otras unidades que son parte del sistema de generación de señales.

En algunas implementaciones, el sistema de calentamiento se usa para calentar un número de áreas objetivo distintas. En un caso como este, cada elemento o unidad del sistema de calentamiento (por ejemplo, la unidad de transformación de señales, la red de ajuste de impedancia, etc.) puede o bien centralizarse para todo el sistema o bien distribuirse como una unidad distinta o más por área objetivo o grupo de áreas objetivo. Las configuraciones de centralización o de distribución pueden usarse para mejorar la funcionalidad del sistema, la eficiencia energética, el coste, el cumplimiento de normativa, el peso, el tamaño y la complejidad, entre otros criterios. Por ejemplo, en algunas implementaciones, se centraliza la unidad de transformación de señales, mientras que la red de ajuste de impedancia se distribuye en una o más unidades por área objetivo. En algunas implementaciones, la unidad de transformación de señales se centraliza solo parcialmente con una subunidad de TSP ("transformación en potencia normalizada") centralizada pero con una subunidad de ACG ("generación de CA") distribuida en una subunidad o más por objetivo área o grupo de áreas objetivo. En algunas implementaciones, la unidad de transformación de señales se distribuye por completo, con cada una de sus subunidades distribuida en una subunidad o más por objetivo área o grupo de áreas objetivo.

En algunas implementaciones, el sistema de control de potencia envía potencia al área objetivo de forma continua hasta que se ha completado el funcionamiento de calentamiento/deshielo/anticongelación. En algunas implementaciones, el sistema puede encender y apagar la alimentación (por ejemplo, usando una unidad de control) de una forma mejorada/eficiente, para lograr una generación de calor y una distribución de calor deseadas en el material conductor. Por ejemplo, mientras el sistema está encendido, se genera calor en unas ubicaciones específicas del área objetivo, y se conduce transversalmente al área objetivo, "propagándose" al resto del área objetivo. Mientras el sistema está apagado, el calor generado continúa conduciéndose dentro del área objetivo.

En algunas implementaciones, el sistema podría incluir diferentes niveles de potencia para el estado encendido y realizar ciclos a través del estado apagado y diferentes niveles de potencia de una forma mejorada. En algunas implementaciones, se podrían alcanzar niveles de potencia específicos a través de un aumento/disminución suavizado de potencia en lugar de incrementos o decrementos de potencia de un escalón. Tales patrones del sistema de potencia pulsada o bien podrían predefinirse por completo cuando se construye el sistema, o bien podrían ser variables y mejorarse dinámicamente basándose en lazos de realimentación que forman parte de la unidad de control del sistema, como se detalla más adelante.

En algunas implementaciones, en donde el sistema de calentamiento incluye varias áreas objetivo, el patrón de potencia pulsada descrito anteriormente puede usarse de forma asíncrona transversalmente a todas las áreas objetivo, de tal modo que todas las áreas objetivo se calentarán en la cantidad de tiempo deseada, al tiempo que se mantienen los niveles de potencia instantánea tanto promedio total como total por debajo de un valor umbral establecido. Por ejemplo, para un sistema de deshielo de aeronave en donde se calentarían ambas alas, el fuselaje y los estabilizadores horizontales y verticales, se podría diseñar un patrón de potencia por fases de este tipo de tal modo que el sistema se enciende solo para un área objetivo de cada vez. En algunas implementaciones, un patrón de potencia por fases puede ser: encender el sistema para el ala izquierda, entonces el fuselaje, entonces el ala derecha, entonces el estabilizador vertical y entonces el estabilizador horizontal.

En algunas implementaciones, puede usarse una temporización mejorada en cada fase para lograr el calor, la potencia promedio o el nivel de potencia instantáneo deseado, así como una distribución de calor aceptable. En algunas

implementaciones, de forma similar al patrón anterior, cualquier subconjunto de las áreas objetivo puede calentarse en un momento dado.

En algunas implementaciones, una o más de las unidades o elementos mencionados como parte del diseño del sistema de calentamiento tendrán una envolvente. Tal envolvente podría diseñarse para una única unidad o para cualquier combinación de unidades. En algunas implementaciones, las envolventes se diseñan de conformidad con normas de cualificación ambiental. Por ejemplo, las envolventes pueden diseñarse de conformidad con criterios tales como no inflamabilidad, protección frente a precipitaciones, unión y construcción que proporcionan protección frente a choques y vibraciones externas, aislamiento eléctrico, protección frente a interferencias electromagnéticas externas ("EMI") y apantallamiento de las emisiones de EMI de los circuitos encerrados, y alivio térmico.

En algunas implementaciones, algunas de las envolventes pueden diseñarse tal como para usar la estructura del objeto calentado (por ejemplo, un material conductor volumétrico) como un disipador de calor. Por ejemplo, una o más de las unidades del sistema de calentamiento pueden alojarse en estructuras metálicas o conductoras que se montan para tener una conductividad térmica alta al medio volumétrico en el que se ubican las mismas. Un posible beneficio de este montaje radica tanto en calentar el medio volumétrico como también en proporcionar un enfriamiento necesario para la electrónica. Otra posible ventaja de este diseño es la reducción del peso del sistema (o dispositivo) de calentamiento obviando la necesidad de proporcionar un disipador de calor separado para disipar las pérdidas. En algunas implementaciones, las áreas objetivo pueden usarse como parte de los disipadores de calor de las unidades del sistema de calor. Este uso puede aumentar la eficiencia del sistema de calentamiento debido a que los circuitos del sistema de calentamiento generan inevitablemente pérdidas de calor que pueden conducirse a las áreas objetivo para calentar las mismas.

En algunas implementaciones, pueden emplearse múltiples adhesivos o tipos de montaje para montar una envolvente sobre el medio volumétrico. Por ejemplo, un adhesivo usado principalmente para retener la rigidez mecánica puede usarse para mantener la carcasa en su lugar, mientras que puede usarse un adhesivo (o superficie de separación) diferente para proporcionar una trayectoria de impedancia térmica inferior para la función de disipación de calor de la envolvente.

En algunas implementaciones, una o más de las unidades del sistema de calentamiento pueden configurarse para detectar una o más mediciones que incluyen, pero sin limitación, voltaje, corriente, temperatura, potencia directa y potencia reflejada, medidas en los circuitos de la unidad, en los cables circundantes, en otras unidades o en las áreas objetivo. En algunas implementaciones, tales mediciones pueden usarse entonces para supervisar el estado operativo de la(s) unidad(es) y controlar su(s) funcionamiento(s) (usando un mecanismo de realimentación), incluyendo la conmutación a encendido/apagado, los niveles de salida y el control, dentro del circuito, de la conmutación y de partes sintonizables con fines de mejora (a continuación se hallan más detalles acerca del control de la conmutación y de partes sintonizables dentro de una red de ajuste dinámico). Los parámetros controlados pueden incluir potencia a carga y/o corriente a carga, control de voltaje en la red de ajuste y otras señales relevantes.

En algunas implementaciones, las mediciones usadas como parte de los lazos de realimentación descritos anteriormente también pueden incluir sensores de hielo específicos que pueden instalarse sobre las áreas objetivo o cerca de las mismas. Tales sensores podrían usarse, por ejemplo, para informar al sistema de calentamiento y/o al usuario acerca del estado de completión del deshielo, y usarse como una entrada para ajustar los niveles de potencia en las fases de funcionamiento de deshielo y de antihielo. En algunas implementaciones, también pueden usarse sensores de hielo para determinar fallos dentro de los requisitos de mantenimiento y/o sistema.

En algunas implementaciones, el sistema de calentamiento puede incluir una unidad de control de convertidor de protocolo (o "unidad de control" o "subunidad de control"), que toma entradas del usuario (que puede ser el piloto o el copiloto en el caso de un sistema de deshielo de aeronave) y/o los sensores del sistema, y que envía señales de control a todas las otras unidades. En algunas implementaciones, las entradas procedentes del usuario pueden incluir, pero sin limitación, estado encendido/apagado, estado de deshielo/antihielo/apagado, temperaturas objetivo para áreas objetivo y salida de potencia objetivo para áreas objetivo. En algunas implementaciones, las entradas procedentes de sensores pueden incluir, pero sin limitación, voltaje, corriente, temperatura, potencia directa y potencia reflejada, impedancia y datos procedentes de sensores de hielo, el conmutador de seguridad antirretracción de tren de aterrizaje, diversas unidades lógicas de aeronave, información procedente de aviónica, así como otros datos. En algunas implementaciones, la unidad de convertidor de protocolo se centraliza para todo el sistema. En algunas implementaciones, esta se distribuye con una unidad de control de convertidor de protocolo por área objetivo o grupo de áreas objetivo.

En algunas implementaciones, la entrada de usuario podría transmitirse a la unidad de control o bien usando hilos (por ejemplo, usando normas de transferencia de datos tales como ARINC 429) o bien de forma inalámbrica (por ejemplo, usando conexiones de Wi-Fi o de Bluetooth de baja energía). En algunas implementaciones, el dispositivo de entrada del usuario o bien podría estar integrado en el sistema que se está calentando (por ejemplo, integrado en los controles en pantalla de la cabina para un sistema de deshielo de aeronave), o bien podría ser un dispositivo separado, tal como una tableta de pantalla táctil (por ejemplo, una tableta separada instalada en la cabina, o una aplicación especial instalada en la tableta de pantalla táctil del piloto en el caso de un sistema de deshielo de aeronave).

En algunas implementaciones, el sistema de control de potencia 104 incluye una unidad de transformación de señales ("STU") o una circuitería que altera la señal procedente de las barras colectoras eléctricas existentes o la batería personalizada o cualquier otra fuente de alimentación del sistema de calentamiento para dar la forma de onda de CA de frecuencia alta deseada para generar corriente en el medio volumétrico. Por ejemplo, en aplicaciones aeronáuticas, la unidad de transformación de señales puede tomar potencia de CC disponible de la barra colectora eléctrica del avión y convertir la misma en la señal de CA de frecuencia alta deseada. En otro ejemplo de aeronave, la unidad de transformación de señales puede tomar potencia de CC disponible de la barra colectora eléctrica del avión en forma de una señal de CA y convertir la misma en la señal de CA de frecuencia alta deseada. En algunas implementaciones, la unidad de transformación de señales puede tomar potencia de CC disponible de una batería personalizada o de cualquier fuente de alimentación personalizada (por ejemplo, que forma parte del sistema de calentamiento) y convertir la misma en la señal de CA de frecuencia alta deseada. En algunas implementaciones, las fuentes de alimentación o baterías personalizadas pueden embeberse dentro de la misma envolvente y/o placa de circuito que la unidad de transformación de señales.

La figura 7 es un diagrama esquemático de una unidad de transformación de señales ("STU") 700 ilustrativa para el sistema de control de potencia 104, que incluye las subunidades principales de transformación en potencia normalizada ("TSP") 710 y de generación de CA ("ACG") 720, que preceden a otra circuitería 730 en el resto del dispositivo 100. El sistema de control de potencia 104 puede extraer potencia de fuentes de alimentación existentes, como se muestra en la figura 7.

La figura 8 es un diagrama esquemático de una unidad de transformación de señales ("STU") 800 ilustrativa para el sistema de control de potencia 104, que incluye una TSP 810, una ACG 820 y una subunidad de control 830.

En algunas implementaciones, la TSP extrae potencia de fuentes de alimentación existentes o de la batería del sistema de calentamiento y la transforma en una entrada normalizada, tal como una de 250 VCC para un funcionamiento mejorado de la ACG, así como para una eficiencia de transferencia de potencia mejorada de la unidad de transformación de señales.

En algunas implementaciones, en donde las barras colectoras eléctricas existentes proporcionan potencia en forma de una señal de 400 Hz, 115 VCA a la TSP, la TSP puede incluir un convertidor de transferencia indirecta con un filtro en su salida, tal como una inductancia de alisado de modo común, evitando que las interferencias electromagnéticas alcancen o dañen la ACG. La figura 9A es un diagrama esquemático de una subunidad de TSP 900 ilustrativa, que incluye un convertidor de transferencia indirecta 910 y una inductancia de alisado de modo común 920. La figura 9B es un diagrama esquemático de un convertidor de transferencia indirecta 910 ilustrativo.

En algunas implementaciones, la TSP es un puente rectificador que convierte la potencia de CA procedente de fuentes de alimentación existentes en cualquier voltaje de CC deseado. En algunas implementaciones, la TSP extrae potencia de CC de la batería o de las fuentes de alimentación existentes (por ejemplo, los 28 VCC habituales en una aeronave) y la transforma en un voltaje de CC diferente o en un voltaje de CA. Por ejemplo, la conversión de CC-CC puede ser útil para alimentar unidades de control y elementos del sistema de calentamiento, caso en el cual los niveles de voltaje posibles pueden incluir $\pm 3,3$ V, ± 5 V y/o ± 12 V. Por último, en algunas implementaciones, puede incluirse una fase de corrección de factor de potencia ("PFC") en el diseño de la TSP dependiendo de la fuente de suministro de alimentación. En algunas implementaciones, la PFC puede servir para corregir la carga no lineal del suministro de alimentación que puede necesitarse. Son posibles fases de PFC tanto activas como pasivas.

En algunas implementaciones, la ACG usa potencia de entrada procedente de la TSP y la transforma en la señal de CA de frecuencia alta deseada. En algunas implementaciones, la ACG se diseña para una eficiencia de transferencia de potencia mejorada de la unidad de transformación de señales. En algunas implementaciones, la ACG incluye un amplificador de potencia o un oscilador o generador de CA o de RF.

En algunas implementaciones, la fase de amplificación de potencia primaria de un amplificador de potencia es o bien "lineal" o bien "de conmutación". Las compensaciones recíprocas relevantes entre estas dos arquitecturas pueden incluir la eficiencia, el manejo de potencia y la linealidad. Los amplificadores lineales de ejemplo pueden incluir la clase A, la clase B y la clase C. Los amplificadores de conmutación de ejemplo pueden incluir la clase D, la clase E y la clase F. En algunas implementaciones, los amplificadores lineales tienen una linealidad alta y una eficiencia baja en comparación con los amplificadores de conmutación. Una eficiencia baja puede significar una gestión térmica más difícil, requisitos de componentes de características asignadas superiores, etc. Una linealidad baja puede significar un aumento del contenido de armónicos, dando lugar potencialmente a problemas de cumplimiento de normativa, eficiencia inferior, un diseño de distribución física y eléctrica más difícil, etc.

En algunas implementaciones, la ACG incluye un amplificador de clase D de puente completo. Por ejemplo, el diseño de amplificador utiliza transistores MOSFET duales alimentados con un accionador de puerta y un oscilador de cristal compensado por temperatura ("TCXO") que genera una frecuencia deseada. La figura 10A es un diagrama esquemático de una subunidad de ACG 1000 ilustrativa, que incluye un amplificador de clase D 1010 con transistores MOSFET duales, un oscilador de cuarzo controlado por temperatura ("TCXO") 1020 y un accionador de puerta 1030.

La figura 10B es un diagrama esquemático teórico de un amplificador de clase D ilustrativo que usa MOSFET duales. En algunas implementaciones, la arquitectura de puente completo puede proporcionar una capacidad de accionamiento diferencial (equilibrada), así como cuatro veces la salida de potencia para un nivel de voltaje de barra colectora dado con una carga dada en comparación con una arquitectura de medio puente. El accionamiento diferencial también puede ser relevante para el cumplimiento de emisiones en condiciones de carga equilibrada presentadas por la estructura de ala esperada. Adicionalmente, en algunas implementaciones, las arquitecturas de clase D pueden tener un factor de utilización de conmutador superior al de otras arquitecturas de conmutación.

En algunas implementaciones, dentro de la arquitectura de clase D con un accionamiento de frecuencia única, pueden variarse muchos parámetros de entrada para lograr unos parámetros de salida mejorados. Un parámetro de entrada de ejemplo incluye el tiempo muerto. Los parámetros de salida de ejemplo incluyen la eficiencia, los esfuerzos de componente de pico, etc.

En algunas implementaciones, las arquitecturas de clase D pueden tener un factor de utilización de conmutador alto e implementaciones de componentes a base de silicio completas, haciéndolas adecuadas para un desarrollo de ASIC potencial. En tales desarrollos, es posible una implementación de SoC (sistema en un chip) en donde todos los componentes de control y la electrónica de potencia residen o bien en la misma pastilla o bien en un MCP (encapsulado de múltiples chips). En algunas implementaciones, una arquitectura de clase D tiene módulos distribuidos que alojan unos SoC y circuitería de soporte unidos a diversas ubicaciones distribuidas en una característica dada de una aeronave.

En otras implementaciones, se utilizan otros diseños de modo de conmutación, tales como arquitecturas de un único conmutador, por ejemplo, clase E o clase F. En algunas implementaciones, tales arquitecturas pueden tener implementaciones de frecuencia de conmutación superior en donde un accionador de puerta de lado de alta puede ser o bien difícil o bien poco práctico. En algunas implementaciones, las arquitecturas de un único conmutador pueden usarse en lugar de las implementaciones de Clase D a medida que la frecuencia aumenta debido a las limitaciones potenciales de las implementaciones de Clase D a esas frecuencias.

En algunas implementaciones, pueden emplearse técnicas de reducción y de eliminación de armónicos con amplificadores de modo de conmutación para mitigar cualquier efecto negativo a partir de la distorsión no lineal inherente en algunas arquitecturas de conmutación. Por ejemplo, el cambio del ciclo de servicio de la forma de onda base, los pulsos de supresión y otras técnicas pueden usarse para eliminar los armónicos durante la generación de señales.

En algunas implementaciones, la ACG incluye transistores que incluyen MOSFET de silicio. En algunas implementaciones, los transistores son MOSFET de nitruro de galio (GaN). En ciertas implementaciones, los transistores de GaN tienen propiedades ventajosas tales como: resistencia en conducción, carga de compuerta de encendido y carga de recuperación inversa. En algunas implementaciones, el GaN es adecuado para frecuencias superiores.

En algunas implementaciones, la TSP incluye adicionalmente una fase de conversión de potencia baja ("LPC"), tal como un regulador lineal, para extraer potencia de las fuentes de alimentación existentes y convertir la misma en una señal de entrada de potencia adecuada para los elementos que accionan la ACG, tales como accionadores de puerta u osciladores de cristal. La figura 10C es un diagrama esquemático de una subunidad de ACG 1050 ilustrativa, que incluye un amplificador de clase D 1010 con transistores MOSFET duales, un oscilador de cuarzo controlado por temperatura ("TCXO") 1020, un accionador de puerta 1030 y una LPC 1050.

En algunas implementaciones, la subunidad de generación de CA se ubica cerca del área objetivo. Una posible ventaja de este diseño radica en limitar las pérdidas y emisiones que ocurren cuando se portan corrientes alternas desde la subunidad de generación de CA a través de la red de ajuste al área objetivo. En algunas implementaciones, la subunidad de TSP puede ubicarse cerca de la unidad de generación de CA o cerca de la fuente de alimentación existente o la batería personalizada. Cuando la TSP está más cerca de la ACG, esta puede integrarse con la ACG, reduciendo potencialmente el número de módulos en el sistema y su complejidad. Cuando la TSP está más cerca de la fuente de alimentación existente o de la batería personalizada, la misma puede diseñarse para una transferencia de potencia mejorada (incluyendo una eficiencia aumentada y una EMI reducida) desde la fuente de alimentación o la batería a la ACG. Por ejemplo, cuando la fuente de alimentación existente proporciona potencia en forma de un voltaje de 400 Hz, 115 VCA, la TSP puede incluir un convertidor de CA-CC, que convierte el voltaje de fuente de alimentación en 250 VCC, reduciendo de este modo la EMI que sería provocada por la corriente de CA, y aumentando la eficiencia aumentando el voltaje y reduciendo la corriente portada desde la TSP a la ACG.

En algunas implementaciones, la subunidad de control controla el estado de la unidad de transformación de señales, incluyendo el modo de encendido/apagado, la potencia de salida, la frecuencia y otros parámetros, basándose en entradas de datos relevantes disponibles en la aplicación para la que se desarrolla el dispositivo (sistema de calentamiento), y emitiendo señales de control a otras subunidades de transformación de señales, incluyendo los accionadores tanto de la TSP como de la ACG. En el ejemplo de un sistema de calentamiento de deshielo y de antihielo para aeronaves, en algunas implementaciones, las entradas de datos pueden incluir entradas de piloto manuales

procedentes de un conmutador de cabina, una temperatura procedente de sensores de temperatura dentro y fuera de la célula, un estado de peso sobre las ruedas procedente de un conmutador de seguridad antirretracción de tren de aterrizaje, diversas unidades lógicas de aeronave, información procedente de aviónica, información de realimentación procedente del propio dispositivo (sistema de calentamiento), así como otros datos. En algunas implementaciones, una subunidad de control incluye un supervisor de microcontrolador alimentado con una fase de conversión de potencia baja (LPC), tal como un regulador lineal, que extrae potencia de las fuentes de alimentación existentes y que convierte la misma en una señal de entrada de potencia adecuada, y que emite señales de control a la TSP y a la ACG. La figura 11 es un diagrama esquemático de una subunidad de control 1100 ilustrativa, que incluye un microcontrolador 1110 y una fase de conversión de potencia baja (LPC) 1120.

En algunas implementaciones, por ejemplo, en el caso de un sistema de calentamiento de deshielo adaptado retroactivamente a una aeronave, la unidad de transformación de señales puede instalarse cerca de las barras colectoras eléctricas disponibles, en una ubicación centralizada. Esto puede reducir la complejidad de instalación, el tiempo de mano de obra y los costes para la unidad. En algunas implementaciones, la unidad de transformación de señales se descentraliza y se instala más cerca de las áreas objetivo. Esto puede reducir la longitud a lo largo de la cual ha de desplazarse la señal de CA entre una unidad de transformación de señales y las áreas objetivo, disminuyendo potencialmente los costes asociados con el apantallamiento frente a interferencias electromagnéticas ("EMI") de la señal y con los requisitos de cable para portar tal señal de CA.

En algunas implementaciones, el sistema de calentamiento tiene una red de ajuste de impedancia ("IAN") configurada para ajustar la impedancia de salida del sistema de calentamiento a niveles deseados. Por ejemplo, una IAN puede configurarse para ajustar la impedancia de salida del sistema de calentamiento para corresponder a la impedancia de entrada del medio volumétrico que va a calentarse. Por ejemplo, una IAN puede configurarse para ajustar las impedancias entre la salida del sistema de calentamiento y la entrada del medio volumétrico para que estén dentro de un rango deseado entre sí. En algunas implementaciones, la red de ajuste de impedancia está configurada para ajustar la impedancia de salida del sistema de calentamiento para que coincida suficientemente con la impedancia del medio volumétrico. En otras palabras, la red de adaptación está configurada para hacer adaptar la impedancia de salida de la STU (la "fuente") a la impedancia de las áreas objetivo (la "carga") dentro de unas tolerancias ingenieriles razonables. En algunas implementaciones, adaptar las impedancias de fuente y de carga incluye ajustar la impedancia de fuente del sistema de calentamiento para que sea un conjugado complejo de la impedancia del medio volumétrico. En algunas implementaciones, la red de ajuste de impedancia se ajusta de tal modo que una impedancia de salida del sistema de calentamiento está dentro del 10 al 30 % de la impedancia del medio volumétrico que va a calentarse.

La figura 12 es un diagrama conceptual de una red de ajuste 1200 entre una fuente 1210 y una carga 1220. La figura 12 muestra la red de ajuste tomando potencia de entrada de la STU ("fuente") a través de un puerto de entrada con ajuste de impedancia a la salida de la STU, y emite potencia a unas áreas objetivo ("carga") a través de un puerto de salida que se somete a ajuste de impedancia para corresponder a las áreas objetivo.

En general, con una señal de CA, cuando la impedancia de salida de una fuente no corresponde a la impedancia de la carga, parte de la señal enviada desde la fuente a la carga se refleja de vuelta a la fuente en lugar de desplazarse a través de la carga. En algunas implementaciones, una red de ajuste de impedancia puede lograr varios beneficios inhibiendo la reflexión de señales y la acumulación de ondas estacionarias de voltaje, que incluyen:

- Reducir el voltaje en todos los riesgos de calentamiento y de formación de arcos eléctricos
- Mejorar la eficiencia del sistema de calentamiento
- Reducir la potencia de salida total requerida de la STU, reduciendo por lo tanto el tamaño, el peso el coste de la STU
- Reducir el esfuerzo en los componentes del sistema
- Mejorar la fiabilidad
- Reducir los gradientes de temperatura en el cableado y en el medio volumétrico

En algunas implementaciones, la impedancia de salida de la STU es superior a la impedancia de las áreas objetivo. En ese caso, la red de ajuste convierte una potencia relativamente de voltaje alto y de corriente baja procedente de la STU en una potencia relativamente de voltaje bajo y de corriente alta entregada a áreas objetivo. En implementaciones, esto significa que solo se entrega una corriente alta después de la red de ajuste y, por lo tanto, más cerca del objetivo, reduciendo las pérdidas por efecto Joule en el resto de la SGU y mejorando la eficiencia global del sistema de calentamiento.

En diversas implementaciones, la red de ajuste puede o bien centralizarse o bien distribuirse por la totalidad de las áreas objetivo. La distribución de la red de ajuste puede permitir que el cableado sirva como un filtro al tiempo que se bajan potencialmente los efectos del voltaje de pico, de la corriente de pico y/o de la temperatura sobre cualquier

componente dado. La distribución también puede añadir modularidad al diseño del sistema, lo que puede mejorar la facilidad de mantenimiento/sustitución de piezas. Además, la distribución permite potencialmente que el sistema evite equipos sensibles y/o áreas peligrosas, por ejemplo, depósitos de combustible.

Adicionalmente, en algunas implementaciones, la red de ajuste puede equilibrarse incluyendo componentes capacitivos adicionales y poniendo a masa puntos medios de simetría en la red. Cuando se acciona mediante una fuente completamente diferencial, el equilibrado de la red puede permitir un rechazo de modo común alto y una inmunidad al ruido mayor. En algunas implementaciones, no se logra ningún equilibrio de este tipo y la trayectoria de retorno de la red de ajuste finaliza en la masa del circuito.

Generalmente, en algunas implementaciones, las redes de ajuste pueden incluir componentes electrónicos pasivos dispuestos en configuraciones de bloques componentes específicas. Por ejemplo, esas configuraciones de bloques componentes pueden incluir transformadores, redes L, redes π , redes T y otras configuraciones. Las figuras 13A-D son diagramas esquemáticos de bloques componentes de red de ajuste de impedancia ilustrativos.

En algunas implementaciones, la red de ajuste del sistema de calentamiento incluye una subunidad de ajuste pasivo. La figura 14 es un diagrama esquemático de una unidad de red de ajuste 1400 ilustrativa, que incluye una subunidad de ajuste pasivo 1410. En algunas implementaciones, la subunidad de ajuste pasivo puede incluir una o más de las configuraciones de bloques componentes mencionadas anteriormente, así como otras configuraciones, ensambladas entre sí. En algunas implementaciones, los componentes electrónicos pasivos de la subunidad de ajuste pasivo se eligen con factores de calidad altos, tal como para mejorar la eficiencia de la red.

En algunas implementaciones, la red de ajuste del sistema de calentamiento puede diseñarse para tener un factor de calidad alto (Q alto) o un factor de calidad bajo (Q bajo). Las redes de ajuste de Q alto pueden usarse para eliminar por filtrado el contenido de señal de armónicos. El filtrado puede ser ventajoso en un diseño de amplificador de conmutación debido a que el contenido de armónicos puede ser superior al de un amplificador lineal. Sin embargo, las redes de Q alto pueden ser más sensibles a las tolerancias de las piezas, a las variaciones operativas en condiciones externas, a las variaciones de ensamblaje y a cualquier otra variación en el sistema. Por lo tanto, los sistemas de Q alto pueden presentar problemas prácticos mientras se implementan sistemas. Por ejemplo, en el caso de un sistema de deshielo de alas de aeronave, si el sistema es de Q alto, la red de ajuste de impedancia podría quedar muy desintonizada debido a perturbaciones pequeñas (por ejemplo, un movimiento de alerón hipersustentador) que provocan riesgo de fallo. Bajar el contenido de armónicos fuera de la frecuencia de accionamiento fundamental puede ser ventajoso para la certificación normativa, así como también para cuestiones prácticas de diseño, incluyendo la contención de señales parásitas dentro de un diseño, someter componentes a sobreesfuerzos (en características asignadas o bien de pico o bien de promedio de tiempo), inestabilidades de algoritmos de control, etc. En algunos casos, es posible aliviar o incluso eliminar estas cuestiones de sensibilidad a través del uso de elementos de sintonización dinámicos.

En algunas implementaciones, el diseño de red de ajuste del sistema de calentamiento puede basarse en conceptos de ajuste de línea de transmisión. Por ejemplo, el cableado en la entrada y/o salida de la red de ajuste puede verse como parte de la red de ajuste. En algunas implementaciones, eligiendo los materiales, el factor de forma, las dimensiones y la longitud correctos del cable, puede lograrse un ajuste de impedancia apropiado.

En algunas implementaciones, la red de ajuste del sistema de calentamiento es una red de ajuste dinámico que incluye una subunidad de ajuste activo y una subunidad de control. La figura 15A es un diagrama esquemático de una unidad de red de ajuste 1500 ilustrativa, que incluye una subunidad de ajuste activo 1510 y una subunidad de control 1520. En algunas implementaciones, la subunidad de ajuste activo incluye una o más configuraciones de red de ajuste controladas por la subunidad de control. En algunas implementaciones, los componentes electrónicos pasivos de la subunidad de red de ajuste activo se eligen con factores de calidad altos, tal como para mejorar la eficiencia de la red. En algunas implementaciones, la subunidad de control recibe datos de entrada a partir de la señal enviada y procedente de las áreas objetivo (tal como potencia directa, potencia reflejada o relación de ondas estacionarias de voltaje) y controla dinámicamente la subunidad de red de ajuste activo para ajustar la sintonización de impedancia en tiempo real. Por ejemplo, tal control puede lograrse a través de elementos de sintonización incluidos en el diseño de la subunidad de red de ajuste activo. Por ejemplo, los elementos de sintonización dinámicos pueden incluir condensadores sintonizables y/o inductancias sintonizables. Además, los ejemplos de elemento sintonizable incluyen: diodos PIN, condensadores de BST, DTC (condensadores de sintonización discretos), diodos varactores, MEMS, varactores ferroeléctricos, componentes ferromagnéticos, filtros sintonizados con YIG, etc. Las métricas ilustrativas que pueden considerarse mientras se evalúan tales dispositivos incluyen: rango de frecuencia operativa, voltaje de CC de sintonización, linealidad de señal de control de sintonización, complejidad de control, relación de sintonización de capacidad/inductancia, velocidad de sintonización, factor de calidad (Q), vida útil de conmutación, coste de encapsulado, manejo de potencia, consumo de potencia, voltaje disruptivo, linealidad, interceptación de tercer orden (IP3), capacidad de integración, etc.

En algunas implementaciones, el uso de una unidad de control con realimentación entre las áreas objetivo y la red de ajuste puede permitir que la red se adapte a cualquier cambio externo que pudiera afectar a la impedancia del área objetivo o a la impedancia de salida de la STU, incluyendo cambios en la temperatura, la configuración geométrica de

las áreas objetivo, la ubicación del sistema de calentamiento, el entorno que rodea al sistema y las áreas objetivo, y otros parámetros. En algunas implementaciones, la red de ajuste incluye adicionalmente una fase de conversión de potencia baja ("LPC"), tal como un regulador lineal, que extrae potencia de las fuentes de alimentación existentes y que convierte la misma en una señal de entrada de potencia adecuada para la subunidad de control. La figura 15B es un diagrama esquemático de una unidad de red de ajuste 1550 ilustrativa, que incluye una subunidad de ajuste activo 1510, una fase de conversión de potencia baja ("LPC") 1560 y una subunidad de control 1520.

En algunas implementaciones, pueden realizarse mediciones de impedancia especializadas en las áreas objetivo para todas las configuraciones y condiciones ambientales que cubren el espectro de situaciones posibles durante el uso del sistema de calentamiento. Esas mediciones pueden permitir el diseño de una unidad de red de ajuste dinámico adaptada al rango de impedancia más estrecho que permite un ajuste de impedancia adecuado en todo el espectro de situaciones mencionado anteriormente. En algunas implementaciones, tal diseño se logra mediante el uso de optimizaciones algorítmicas o simulaciones por ordenador para aumentar la eficiencia del sistema al tiempo que se disminuye el peso, la complejidad y el coste de la red de ajuste.

En algunas implementaciones, pueden usarse cables especializados en el sistema de calentamiento, diseñados o elegidos específicamente en cada fase para mejorar la eficiencia y apantallar la señal de potencia que se porta a las áreas objetivo. La figura 16 es un diagrama esquemático de fases de cables en un sistema de calentamiento ilustrativo. En diversas implementaciones, las fases de cables en el sistema de calentamiento pueden personalizarse, incluyendo cables entre las fuentes de alimentación 1620 y la STU 1610 (la fase de cables uno 1630), los cables en la STU entre las subunidades de la TSP 1640 y la ACG 1650 (la fase de cables dos 1660), cables entre la STU 1610 y la red de ajuste 1670 (la fase de cables tres 1680), así como cables entre la red de ajuste 1670 y las áreas objetivo 1690 (la fase de cables cuatro 1695).

En general, diversas consideraciones de diseño pueden ser relevantes en el diseño de cables especializados en todo el sistema de calentamiento. En algunas implementaciones, algunas consideraciones térmicas pueden ser relevantes. Por ejemplo, en algunas implementaciones, el cable que conecta la red de ajuste al área objetivo (o que discurre cerca del área objetivo y que retorna a la red de ajuste en algunos casos) se sujeta para permitir un flujo térmico aumentado desde el cable al área objetivo. Esto es ventajoso si algo del calor generado a medida que discurre corriente a través de los cables (que se perdería de otro modo) se recupera y se está transfiriendo al área objetivo, en donde la intención es generar calor, mejorando la eficiencia del sistema.

En algunas implementaciones, los cables pueden encaminarse cerca del área objetivo usando sujeciones. Para mejorar el contacto térmico en tales casos, pueden usarse materiales de superficie de separación térmica con una conductividad térmica mejorada para llenar los huecos de aire entremedias de la superficie de separación entre sujeción de cable y área objetivo.

En algunas implementaciones, los cables se unen directamente al área objetivo. Para mejorar el contacto térmico en tales casos, puede usarse un adhesivo con una conductividad térmica superior para unir el cable al área de contacto. Adicionalmente, pueden usarse materiales de superficie de separación térmica con una conductividad térmica superior para llenar algunos o todos los huecos de aire remanentes que existen entre el cable y el área objetivo.

En algunas implementaciones, pueden usarse secciones transversales de diferentes geometrías, así como diferentes factores de forma de cable, dependiendo de las unidades, las áreas objetivo o las fuentes de alimentación que los cables conectan. En algunas implementaciones, el cable solo incluye un conductor principal, con o sin envoltura protectora (incluyendo para aislamiento eléctrico y/o protección ambiental, por ejemplo, corrosión, humedad, temperaturas extremas, fricciones). Esta configuración puede ser ventajosa para partes del sistema que portarían una señal de CC o que entregarían una señal al área objetivo.

En algunas implementaciones, el cable es un cable coaxial. El cable coaxial puede incluir una pantalla que puede reducir las emisiones de EMI cuando se porta una señal de CA y puede proteger frente a la EMI que rodea el sistema cuando se porta cualquier señal.

En algunas implementaciones, el cable es un cable triaxial. Este diseño puede ser beneficioso para la protección y aislamiento frente a EMI cuando se porta cualquier señal y, más particularmente, cuando se porta una señal equilibrada, por ejemplo, en la salida de una realización equilibrada de una unidad de red de ajuste.

En algunas implementaciones, el cable es un cable de par coaxial. Este diseño puede tener beneficios similares a los proporcionados por un cable triaxial.

En algunas implementaciones, pueden usarse diferentes geometrías en sección transversal de cable, dependiendo de las unidades, las áreas objetivo o las fuentes de alimentación que los cables conectan.

En algunas implementaciones, la sección transversal del/de los conductor(es) del cable tiene una geometría circular. Este diseño tiene el beneficio de que su coste de fabricación es relativamente bajo (costes ingenieriles no recurrentes bajos) en el caso de un factor de forma coaxial/triaxial/de par coaxial.

- En algunas implementaciones, la sección transversal del cable es plana y/o rectangular. Por ejemplo, esta sección transversal puede ser una geometría de cable ventajosa para la última fase del sistema en donde el cable entrega corriente al área objetivo. En esa fase, una forma rectangular puede permitir un impacto inferior de los efectos de proximidad y pelicular sobre las corrientes que circulan dentro del cable, reduciendo por lo tanto las pérdidas y aumentando la eficiencia del sistema. Adicionalmente, esa geometría puede reducir la cantidad total de material conductor necesario en el cable, reduciendo por lo tanto el peso del sistema, lo cual es una consideración importante en el caso de un sistema de deshielo de aeronave.
- En algunas implementaciones, dependiendo de las corrientes de entrada y de salida específicas y de las señales portadas por el cable, así como dependiendo de su geometría en sección transversal y de otros factores, el tamaño de la sección transversal puede seleccionarse para limitar las temperaturas operativas a un rango especificado (por ejemplo, por razones de cumplimiento y dependiendo de los materiales usados para fabricar el cable), así como para reducir su peso y tamaño.
- En algunas implementaciones, se usarán diferentes tipos de apantallamiento de cable (y geometrías en sección transversal) dependiendo de las unidades, las áreas objetivo o las fuentes de alimentación que los cables conectan.
- En algunas implementaciones, el cable no incluirá ningún apantallamiento. Es más probable que esto sea ventajoso en fases en donde se porta corriente de CC (por lo tanto, con unos requisitos de supresión de EMI inferiores) y en donde no es necesario que se porte una trayectoria de retorno (por ejemplo, en la fase posterior del sistema en una realización en la que el área objetivo porta la corriente de retorno y un cable cercano alimenta al área objetivo con esa corriente).
- En algunas implementaciones, se usará un apantallamiento único. Esto es ventajoso, por ejemplo, en donde una capa de apantallamiento es suficiente para conseguir que el cable cumpla con los requisitos de EMI/EMC, así como con otros requisitos ambientales.
- En algunas implementaciones, se usará un apantallamiento doble. Esto añade otra capa de apantallamiento que, por ejemplo, puede reducir adicionalmente las emisiones de EMI y reducir la susceptibilidad a EMI del cable.
- En algunas implementaciones, se usará un apantallamiento triple o más apantallamiento. Esto añade capas adicionales de apantallamiento por razones similares a las dadas anteriormente.
- En algunas implementaciones, para un área objetivo dada, los cables que entregan corriente a esta área podrían seguir diferentes trayectorias posibles.
- En algunas implementaciones, los cables simplemente siguen unas trayectorias aproximadamente rectas de un lado del área objetivo a otro. En algunos casos, estas trayectorias podrían ser paralelas. En algunas implementaciones, los cables podrían discurrir a través del área objetivo en diagonal, cruzándose entre sí en diversas ubicaciones sobre el área objetivo. Esto podría, por ejemplo, ayudar a generar un calor más uniforme transversalmente a la superficie del área objetivo y generar puntos relativamente más calientes en unas ubicaciones deseadas en donde se cruzan los cables.
- En algunas implementaciones, los cables discurren por una trayectoria de tipo zigzag, una trayectoria serpenteante o una trayectoria que puede modelarse mediante curvas 2D diferenciables de ajuste polinómico a trozos. Este diseño puede aumentar la eficacia del sistema alargando la trayectoria seguida por corrientes que discurren a través del área objetivo, aumentando por lo tanto adicionalmente su resistencia eficaz. Esto, por ejemplo, puede ayudar a lograr una eficiencia superior, una corriente inferior y un ajuste de impedancia más estable con el sistema.
- En algunas implementaciones, los diseños de trayectorias de cables se basan en una combinación de las opciones enumeradas anteriormente, así como otras.
- En algunas implementaciones, dependiendo del diseño, la fase y el fin del cable, podrían usarse diferentes materiales en su fabricación.
- Dependiendo de requisitos de voltaje, de corriente, de temperatura, de potencia, de radio de curvatura y de durabilidad locales, así como de otros criterios, los materiales conductores de los cables pueden elegirse para mejorar la eficiencia, la conductividad eléctrica, el peso, el coste, el tamaño y los aspectos térmicos.
- En algunas implementaciones, el material conductor se hace de cobre, plata, aluminio, material compuesto de fibra de carbono, titanio o una aleación de los mismos. En algunas implementaciones, el conductor se hace de cualquiera de los materiales mencionados previamente y se reviste con otros materiales, por ejemplo, un revestimiento de plata para mejorar la conductividad del recubrimiento del conductor.

En algunas implementaciones, los conductores podrían hacerse de materiales macizos o trenzados. Por ejemplo, en algunas implementaciones, las hebras podrían, cada una, aislarse entre sí usando un revestimiento aislante tal como esmalte. Por ejemplo, se podría usar un hilo de Litz para reducir el impacto de los efectos pelicular y de proximidad dentro del cable.

5 En algunas implementaciones (por ejemplo, para cables coaxiales/triaxiales/de par coaxial), dependiendo de requisitos de voltaje, de corriente, de temperatura, de potencia, de radio de curvatura y de durabilidad locales, así como de otros criterios, los materiales dieléctricos de los cables pueden elegirse para aumentar la eficiencia (por ejemplo, reduciendo las pérdidas dieléctricas), el peso, el coste, la flexibilidad, la tolerancia de voltaje máxima, la tolerancia de potencia
10 máxima, las características asignadas de temperatura (tolerando temperaturas superiores y/o teniendo una capacidad térmica superior y/o unas pérdidas dieléctricas inferiores y/o una conducción de calor mejor fuera del cable).

En algunas implementaciones, en donde se usa un ajuste de línea de transmisión en la unidad de red de ajuste, los cables relevantes pueden usar materiales dieléctricos también elegidos para alcanzar unos niveles de impedancia
15 deseados. Los materiales ilustrativos incluyen materiales a base de teflón y polietileno, así como otros materiales.

En algunas implementaciones, dependiendo de requisitos de voltaje, de corriente, de temperatura, de potencia, de radio de curvatura y de durabilidad locales, así como otros criterios, los materiales de envoltura de los cables se elegirán para mejorar parámetros tales como el peso, el coste, la flexibilidad, la tolerancia de voltaje máxima, las
20 características asignadas de temperatura y la conducción de calor a disipadores de calor cercanos (por ejemplo, al área objetivo cuando la misma se usa como un disipador de calor).

En algunas implementaciones, en el caso en el que se usa un ajuste de línea de transmisión como parte de la red de ajuste, puede controlarse la longitud del cable usado para el ajuste de impedancia, además de su dieléctrico, para
25 alcanzar un nivel de impedancia seleccionado como objetivo. Por ejemplo, el cable que entrega corriente al área objetivo se usa como parte de un sistema de ajuste de línea de transmisión, y se añade una longitud adicional para el ajuste de impedancia y se enrolla localmente para ocupar una cantidad más pequeña de espacio.

En algunas implementaciones, pueden usarse técnicas de sujeción específicas para encaminar los cables a través de la estructura del sistema. Tales técnicas pueden elegirse para mejorar el coste y el tiempo de instalación, el peso del sistema (reduciendo la longitud de hilo necesario y el peso de la técnica de sujeción), así como para unos efectos
30 electromagnéticos y una transferencia de calor deseados mejorados para los cables cerca del área objetivo.

En algunas implementaciones, la sujeción se elige para reducir la distancia entre el cable que entrega potencia al área objetivo y el área objetivo. Este diseño puede generar el efecto de proximidad de una forma más intensa. En algunas implementaciones, pueden elegirse diseños de sujeción de cable convencionales para una distancia de cable a área
35 objetivo baja.

En algunas implementaciones, las sujeciones también se usarán para aumentar la conducción de calor desde los cables al área objetivo.
40

En algunas implementaciones, se eligen materiales de sujeción para un peso y un coste inferiores del sistema. Esto puede lograrse usando materiales compuestos, por ejemplo. En algunas implementaciones, en donde también se usan sujeciones para conducir calor al área objetivo, los materiales también se elegirán para una conductividad térmica
45 aumentada (los materiales metálicos, por ejemplo, tienen habitualmente una conductividad térmica relativamente alta).

En algunas implementaciones, los adhesivos usados para unir sujeciones a sus áreas de enlace se eligen para aumentar la resistencia y asegurar un enlace a largo plazo al área objetivo. La resistencia del adhesivo es ventajosa en el caso en el que el área de enlace es relativamente pequeña y en el que las restricciones mecánicas creadas en el área de enlace son relativamente fuertes. Adicionalmente, en algunas implementaciones en las que las sujeciones se usan para conducir calor desde el cable a un área objetivo, el adhesivo también se elige para una conductividad
50 térmica aumentada.

Por último, en algunas implementaciones en las que las sujeciones se usan para conducir calor desde el cable a un área objetivo, los huecos de aire en el área entre el cable, las sujeciones y el área objetivo se llenan con un material de superficie de separación térmica que es suficientemente conductor térmico para asegurar un flujo de calor mejorado desde el cable al área objetivo.
55

En algunas implementaciones, los cables se unen directamente a estructuras circundantes tales como el medio volumétrico usando un adhesivo, permitiendo una transferencia de calor mejor desde el cable a la estructura a la que se une el mismo. Los adhesivos se seleccionan basándose en criterios similares a los usados para las sujeciones.
60

En algunas implementaciones, los diseños de conjunto de cables incluyen la división de una trayectoria de cable dada en un conjunto de dos o más ramas separadas. Esto es útil, por ejemplo, en implementaciones en las que una red de ajuste envía corriente a un conjunto de varias áreas objetivo. En tales implementaciones, un cable podría ser la única salida de la red de ajuste y, a medida que se encamina a las áreas objetivo, el cable puede dividirse en ramas
65

separadas, cada una de las cuales entrega corrientes a las áreas objetivo. En algunas implementaciones, tal división puede lograrse dividiendo una hebra conductora dada en varias más pequeñas, enviando un subconjunto de hebras a cada una de las ramas separadas cuando el cable dividido tiene un conductor trenzado, o mediante el uso de un divisor de potencia. El divisor de potencia puede ser útil para controlar la cantidad de corriente, voltaje y potencia que va a cada una de las ramas en las que se divide el cable.

De forma similar, en algunas implementaciones, dos o más cables pueden fusionarse en un número menor de cables que acumulan las señales procedentes de todos los cables fusionados. Tal fusión puede lograrse fusionando hebras conductoras dadas para dar otras, reagrupando diferentes subconjuntos de hebras para dar nuevos cables trenzados o mediante el uso de un combinador de potencia (por ejemplo, un dispositivo igual a un divisor de potencia, pero usado al revés). El combinador de potencia puede ser útil para controlar la cantidad de corriente, voltaje y potencia que va a cada una de las ramas en las que se fusionan los cables.

En algunas implementaciones, cada fase de cables en el sistema de calentamiento tiene consideraciones de diseño de cable singulares.

En algunas implementaciones, se elige la fase de cables uno para permitir la transferencia de potencia eficiente desde las fuentes de alimentación a la subunidad de TSP. En algunas implementaciones, en donde las fuentes de alimentación emiten corriente eléctrica de CC, la fase de cables uno incluye cobre trenzado aislado con un material adaptado, y de un calibre total equivalente adecuado para la potencia, el voltaje y la corriente portados a la subunidad de TSP. En algunas implementaciones, en donde las fuentes de alimentación emiten una señal de 400 Hz, 115 VCA, la fase de cables uno incluye cobre trenzado y retorcido, aislado con un material adaptado, y de un calibre total equivalente adecuado para la potencia, el voltaje y la corriente portados a la subunidad de TSP.

En algunas implementaciones, se elige la fase de cables dos para permitir la transferencia de potencia eficiente desde la TSP a las subunidades de ACG. En algunas implementaciones, en donde la TSP emite potencia en forma de una señal de 250 VCC, la fase de cables dos incluye cobre trenzado aislado con un material adaptado, y de un calibre total equivalente adecuado para la potencia, el voltaje y la corriente portados a la subunidad de TSP.

En algunas implementaciones, la fase de cables tres se elige y se personaliza para permitir la transferencia eficiente de la señal de alimentación de CA de frecuencia alta desde la salida de la STU a la red de ajuste. Por ejemplo, este cable puede diseñarse para reducir las pérdidas resistivas y electromagnéticas provocadas por la frecuencia alta de la señal, así como para apantallarse frente a interferencias externas que podrían alterar la integridad de la señal y para evitar fugas de señal a partir del cable que podrían afectar a equipos y materiales circundantes. En algunas implementaciones, la fase de cables tres es una línea de transmisión de potencia alta y de frecuencia alta en forma de cable coaxial personalizado. En algunas implementaciones, el cable coaxial incluye un conductor modular que porta la señal de entrada de la red de ajuste y se hace de cobre trenzado con un diámetro exterior lo bastante grande para portar la potencia con unas pérdidas resistivas reducidas, un material dieléctrico que rodea el núcleo elegido para aumentar el aislamiento eléctrico y para sostener rangos de voltaje y de temperatura altos, un conductor de pantalla que proporciona la trayectoria de retorno de la señal a la ACG hecha de cobre retorcido y trenzado con un calibre equivalente lo bastante grande para portar la potencia con unas pérdidas resistivas reducidas, una primera carcasa que aísla la pantalla de conducción elegida para sostener rangos de voltaje y de temperatura altos, una pantalla exterior similar a la pantalla de conducción pero que no porta directamente corrientes y que se usa para apantallar el cable frente a interferencias externas y para evitar fugas y, por último, una segunda carcasa similar a la primera carcasa y que aísla la pantalla exterior.

En algunas implementaciones, la fase de cables cuatro se elige y se personaliza para permitir la transferencia eficiente de la señal de alimentación de CA de frecuencia alta y de corriente alta desde la red de ajuste a las áreas objetivo. En algunas implementaciones, este cable se diseña para ajustar la impedancia entre la red de ajuste y las áreas objetivo, para reducir las pérdidas resistivas y electromagnéticas provocadas por la frecuencia alta de la señal, así como para apantallarse frente a interferencias externas que podrían alterar la integridad de la señal y para evitar fugas de señal a partir del cable que podrían afectar a equipos y materiales circundantes. En algunas implementaciones, la fase de cables cuatro es una línea de transmisión de potencia alta, de frecuencia alta y de corriente alta en forma de cable coaxial personalizado, de forma similar a la realización descrita anteriormente para la fase de cables tres, excepto porque tiene calibres y diámetros de conductor más grandes y con revestimientos de plata adicionales de los mismos conductores para mejorar el desempeño de corriente alta y reducir adicionalmente las pérdidas resistivas. En algunas implementaciones, la fase de cables cuatro se personaliza adicionalmente basándose en el diseño de hilo de Litz. El fin de un diseño de este tipo es reducir las pérdidas debidas a los efectos de proximidad y pelicular en los cables, fabricando los conductores con hebras más delgadas que la profundidad de penetración, aisladas individualmente (por ejemplo, usando un revestimiento de esmalte) y retorcidas o tejidas de una forma perfectamente simétrica.

En general, los electrodos incluyen el material a través del cual la corriente entrará en, y saldrá de, el área objetivo de medio volumétrico. En algunas implementaciones, se usará un conector para conectar los electrodos al medio volumétrico. Conector se refiere a un montaje de unión que conecta los electrodos al medio volumétrico. En algunas implementaciones, los electrodos y conectores se diseñan para reducir la resistencia de contacto entre los electrodos y el medio volumétrico. Dicho de otra forma, los electrodos se diseñan para suavizar la diferencia de potencial que

tiene lugar transversalmente al área objetivo, para una trayectoria de retorno dada. Si esta resistencia de contacto es superior a la resistencia del área objetivo entremedias de los dos electrodos, tendrá lugar más calentamiento en los puntos de contacto que a lo largo del área objetivo, todo lo demás igual, reduciendo la eficiencia de calentamiento del sistema de calentamiento. En algunas implementaciones, por razones similares, los electrodos y conectores se diseñan para reducir la resistencia de contacto entre los electrodos y los hilos (o cables) del sistema de calentamiento. En algunas implementaciones, los electrodos y conectores también se diseñarán para reducir las pérdidas electromagnéticas (por ejemplo, la radiación electromagnética).

En algunas implementaciones, las consideraciones de diseño de electrodos para lograr uno o más de los objetivos anteriores incluyen (1) seleccionar un material de electrodo que tiene una conductividad alta y (2) aumentar el área de contacto "real" entre los electrodos y el medio volumétrico, y entre los electrodos y los hilos. El área de contacto "real" se refiere a los contactos diminutos, intermetálicos o entre materiales, a través de los cuales la corriente fluye desde un material al otro, denominados a menudo "puntos α". En algunas implementaciones, los conectores también se diseñarán para lograr estos objetivos.

En algunas implementaciones, el material de los electrodos puede incluir plata, cobre, aluminio, material compuesto de fibra de carbono, titanio o una aleación de los mismos.

En algunas implementaciones, los electrodos son parte de los cables usados para transmitir corriente al medio volumétrico.

En algunas implementaciones, la geometría de los electrodos se diseña para ser adecuada para un área objetivo específica y/o para reducir la resistencia de contacto entre los electrodos y el medio volumétrico y/o para reducir las pérdidas electromagnéticas.

En algunas implementaciones, los electrodos son circulares.

En algunas implementaciones, los electrodos son de la forma del extremo de los cables usados para transmitir corriente al medio volumétrico.

En algunas implementaciones, se usan electrodos de línea (por ejemplo, electrodos rectangulares en los que la longitud es más grande que la anchura).

En algunas implementaciones, se usan electrodos en forma de curvas 2D diferenciables de ajuste polinómico a trozos con un espesor pequeño (en la tercera dimensión espacial).

En algunas implementaciones, el conductor de cable puede conectarse al área objetivo intercalándose entre una placa de conexión y el área objetivo. Por ejemplo, puede fresarse una porción del lado de la placa de conexión en contacto con el área objetivo. El conductor del cable que esta conexión enlaza con el área objetivo puede colocarse en esta porción fresada. Esta configuración puede permitir la sujeción o adhesión de la placa de conexión de electrodo con el conductor de cable por debajo y sin tener que doblar la conexión para asegurar un enlace apropiado con el área objetivo.

En general, se contemplan diversas implementaciones y consideraciones de diseño para electrodos y conectores.

La figura 17 es una fotografía de un electrodo de espárrago circular 1700 ilustrativo para un sistema de calentamiento 100. El electrodo incluye un espárrago de conexión a masa circular acoplado a un disco 1710 hecho de un material conductor (por ejemplo, aluminio), sobre el cual se monta un material conductor roscado 1720 (por ejemplo, aluminio).

En algunas implementaciones, el conductor del cable que se conecta al área objetivo a través del electrodo 1700 se enrolla alrededor del material conductor roscado 1720, quedando tendido plano y cubriendo una porción significativa del área superficial tanto del material conductor roscado como del disco. En algunas implementaciones, pueden usarse una tuerca y una arandela sobre el material roscado 1720 para presionar el conductor contra el disco 1710, asegurando un área de contacto superior y una resistencia de contacto inferior.

En algunas implementaciones, los huecos de aire entre la arandela, el cable y el disco 1710 se llenan con un material de superficie de separación térmica eléctrica y/o térmicamente conductor, asegurando una conductividad térmica y/o de corriente mejorada desde el cable al espárrago 1700.

En algunas implementaciones, el electrodo de espárrago circular 1700 se une al área objetivo usando un adhesivo elegido específicamente que es suficientemente conductor tanto eléctrica como térmicamente para conducir el calor y la señal eléctrica desde el cable al área objetivo. En algunas implementaciones, el adhesivo también es suficientemente fuerte para resistir el par creado por la tuerca y la arandela.

En algunas implementaciones, el conector es un montaje de sujeción en forma de U unido al medio volumétrico y a los electrodos de un modo tal que se aplica una fuerza de compresión significativa entre el electrodo y el medio volumétrico.

En algunas implementaciones, los materiales del electrodo y el conector pueden elegirse para reducir su peso. En algunas implementaciones, el material del electrodo se elige para mejorar la conducción eléctrica y/o térmica a través del material, además de reducir su peso. Una conducción mejorada puede ser ventajosa para los diseños de electrodos en donde la corriente que fluye desde el cable al área objetivo pasa a través del electrodo (por ejemplo, espárrago circular, diseño de una placa).

En algunas implementaciones, se incluyen envoltentes específicas como parte del diseño de conectores y electrodos. Por ejemplo, tales envoltentes pueden elegirse para la cualificación ambiental, incluyendo criterios tales como alivio y/o aislamiento térmico, aislamiento eléctrico, apantallamiento de EMI, protección frente a corrosión, resistencia a vibraciones y choques, durabilidad, protección frente a contaminación externa y precipitaciones.

En general, se contemplan diversas configuraciones de adhesión (y combinaciones de las mismas) entre los electrodos y/o conectores y el medio volumétrico. En algunas implementaciones, las configuraciones reducen la resistencia de contacto entre los electrodos y el medio volumétrico y/o reducen las pérdidas electromagnéticas.

En algunas implementaciones, los electrodos se conectan al medio volumétrico usando una junta por soldadura fuerte. La figura 18A es un diagrama esquemático de una unión de junta por soldadura fuerte 1800 ilustrativa entre un electrodo 1802 y el área objetivo de medio volumétrico 102, que es parte del medio volumétrico 1806, más grande. Se usa un material de soldadura fuerte para crear la junta por soldadura fuerte 1804. Por ejemplo, se podría usar un metal de aporte de soldadura fuerte de baja temperatura (por ejemplo, AL 802) para soldar los electrodos al área objetivo para crear un contacto de resistencia baja. En algunas implementaciones, para mitigar la oxidación (la formación de una capa de óxido de aluminio en el sitio de soldadura fuerte), los metales de aporte se revestirán con fundente. El fundente es un material que a altas temperaturas disuelve los óxidos y evita que la superficie se vuelva a oxidar hasta que el metal de aporte haya humedecido la superficie.

En algunas implementaciones, los electrodos y el área objetivo se revisten en conjunto a presión y temperatura. Por ejemplo, en algunas implementaciones, se aplica una fuerza de compresión entre los electrodos y el área objetivo. Sin desear ceñirse a teoría alguna, la fuerza de compresión puede reducir la resistencia de contacto entremedias de los electrodos y el medio volumétrico según la ecuación a continuación:

$$R = \rho \sqrt{\frac{\pi H}{4F}}$$

en donde ρ es la resistividad eléctrica de los materiales de contacto, H es la dureza Vickers de la más blanda de las superficies de contacto y F es la fuerza de compresión o de contacto.

En algunas implementaciones, puede aplicarse una fuerza de compresión para conectar los electrodos y el medio volumétrico usando un conector de sujeción mecánica. La figura 18B es un diagrama esquemático de una configuración de unión 1820 ilustrativa entre el electrodo 1802 y el área objetivo 102 que es parte del medio volumétrico 1806, más grande. Unos remaches macizos 1822 se usan para aplicar una fuerza de compresión para conectar el electrodo al área objetivo.

En algunas implementaciones, puede aplicarse una fuerza de compresión usando cinta de vacío o un objeto similar que pueda sellar de forma estanca la conexión entremedias de los electrodos y el área objetivo. La figura 18C es un diagrama esquemático de una configuración de unión 1840 ilustrativa, entre el electrodo 1802 y el área objetivo 102, que es parte del medio volumétrico 1806, más grande. La cinta de sellado estanco 1842 se usa para conectar el electrodo y el área objetivo. Después de que se haya completado el sellado estanco, puede usarse un dispositivo de succión para crear un vacío entre los electrodos y el área objetivo, juntando de ese modo los dos entre sí y generando una fuerza de compresión.

En algunas implementaciones, puede aplicarse una fuerza de compresión usando abrazaderas que dejan intercalado el electrodo y el área objetivo y aumentando la presión en su superficie de separación, por ejemplo, con abrazaderas en C.

En algunas implementaciones, la fuerza de compresión puede aplicarse usando imanes o superficies magnetizadas. En algunas implementaciones, se magnetiza o bien una cara del electrodo o bien una cara del área objetivo, permitiendo una fuerza de atracción entre los imanes y el electrodo y/o el área de contacto, lo que da como resultado la fuerza de compresión deseada. En algunas implementaciones, se usan dos o más imanes, y el electrodo y el área objetivo se intercalan entre los mismos, permitiendo una fuerza de atracción entre los imanes, lo que da como resultado la fuerza de compresión deseada. En algunas implementaciones, se magnetizan tanto una cara del electrodo como

una cara del área objetivo, permitiendo una fuerza de atracción entre el electrodo y el área objetivo, lo que da como resultado la fuerza de compresión deseada.

En algunas implementaciones, la fuerza de compresión es aplicada por un montaje de conexión de compresión externo o interno que se adhiere a una superficie en o cerca del área objetivo y convierte la resistencia del adhesivo en una fuerza de compresión deseada. En algunas implementaciones, pueden usarse adhesivos (por ejemplo, adhesivos de curado) junto con los montajes de conexión.

En algunas implementaciones, los electrodos se podrían embeber, parcial o totalmente, en el medio volumétrico, usando uno de los métodos mencionados anteriormente o una técnica alternativa.

En algunas implementaciones, se coloca un material conductor (por ejemplo, grafeno) entremedias de los electrodos y el área objetivo.

En algunas implementaciones, el material conector usado para conectar el electrodo al área objetivo es un adhesivo elegido para una resistencia aumentada, asegurando un enlace a largo plazo con el área objetivo. La resistencia del adhesivo puede ser ventajosa en el caso en el que el área de enlace es relativamente pequeña y en el que las restricciones mecánicas creadas en el área de enlace son relativamente fuertes (por ejemplo, en el caso del electrodo de espárrago en forma de U). En una realización, cuando es necesario que el electrodo permanezca en una posición fija para curar el adhesivo después de aplicarse, pueden usarse montajes de sujeción internos o externos/desechables que usan adhesivos y fuerza mecánica para mantener el electrodo en su lugar.

En algunas implementaciones, el material del conector usado para conectar el electrodo al área objetivo también se elige para una conductividad térmica y/o eléctrica superior para asegurar un flujo mejorado de corriente y de calor desde el cable al área objetivo. Por ejemplo, una conductividad superior puede ser una consideración en donde el electrodo usado se une de tal modo que el adhesivo está en la trayectoria de la corriente eléctrica que discurre desde el cable/electrodo al área objetivo (por ejemplo, con un electrodo de espárrago circular y el electrodo de diseño de placa única). Para ese fin, en algunas implementaciones, se colocan nanomateriales (por ejemplo, CNT) entre los electrodos y el medio volumétrico. En algunas implementaciones, la superficie de los electrodos y la porción de la superficie del medio volumétrico que se pondrá en contacto con los electrodos (por ejemplo, el área objetivo) pueden manipularse para aumentar el área de contacto "real" entre los mismos.

En algunas implementaciones, y en combinación con las implementaciones mencionadas anteriormente así como otras implementaciones, el conector, los electrodos y parte del área objetivo están envueltos con un material que reduce o elimina las pérdidas electromagnéticas.

En algunas implementaciones, cualquier combinación de los métodos mencionados anteriormente se usa con cualquier realización de electrodo y de conector. Por ejemplo, la figura 18D es un diagrama esquemático de una unión combinatoria 1860 ilustrativa entre el electrodo 1802 y el área objetivo 102 del medio volumétrico 1806. La unión incluye una junta por soldadura fuerte 1804 y unos remaches macizos 1822.

En algunas implementaciones, puede que no se necesite ningún conector/cable para el sistema, debido a que no se requiere ningún contacto físico para que se genere la corriente deseada. En ese caso, en algunas implementaciones, la trayectoria de retorno de la señal puede ser una porción adicional de hilo que discurre de vuelta a la red de ajuste.

Las implementaciones del sistema de calentamiento descrito en el presente documento pueden usarse como un dispositivo de deshielo/antihielo para derretir hielo de la superficie de un avión aplicando corriente de CA de frecuencia alta a un área objetivo del recubrimiento/célula del avión (por ejemplo, para producir un calentamiento por efecto Joule). El calor generado en el área objetivo de la célula se conduce a la superficie de la célula y se propaga por convección transversalmente a la interfase célula-hielo al hielo. En algunas implementaciones, el hielo se derrite completamente. En algunas implementaciones, se derrite una porción del hielo (una capa directamente en contacto con la célula), creando una capa de agua entre el hielo y la célula, permitiendo que el hielo se deslice o que sea retirado mecánicamente de la célula. En algunas implementaciones, tiene lugar un calentamiento antes de que haya hielo presente, evitando su formación.

En algunas implementaciones, tras derretirse el hielo, la corriente de CA de frecuencia alta continúa aplicándose para mantener la generación de un calentamiento por efecto Joule dentro de la célula, que se transfiere a cualquier agua formada/remanente sobre la superficie usando conducción y convección.

Las figuras 19-32 proporcionan ejemplos de conjuntos para portar y entregar energía electromagnética para sistemas de calentamiento de medio volumétrico. Los conjuntos (denominados en el presente documento "tiras de acoplamiento") están configurados para funcionar de forma similar a las líneas de transmisión en combinación con un medio conductor volumétrico al que se unen las mismas. En algunas implementaciones, el diseño de las tiras de acoplamiento hace que el propio medio volumétrico conduzca corriente de forma similar a la corriente que se desplaza a través de una línea de transmisión. Las tiras de acoplamiento pueden acoplar electromagnéticamente señales de CA procedentes de las líneas a los medios volumétricos, generando de ese modo unas señales de corriente

correspondientes dentro del medio volumétrico. Por lo tanto, de hecho, puede decirse que el diseño de la tira de acoplamiento hace que el medio volumétrico (en combinación con la tira de acoplamiento) funcione también como una línea de transmisión o, como alternativa, hace que el medio volumétrico y las tiras de acoplamiento formen en conjunto un sistema que se comporta como una línea de transmisión y puede analizarse y diseñarse en este sentido.

Como se ha analizado anteriormente, las implementaciones de la presente divulgación están configuradas para producir un calentamiento en un medio volumétrico manipulando mecanismos para conformar (por ejemplo, constreñir, alargar, etc.) una corriente dentro de un medio conductor (por ejemplo, un medio volumétrico, un conductor): usando el efecto pelicular y el efecto de proximidad. Ambos efectos se basan en hacer discurrir una corriente de CA de frecuencia alta a través del medio conductor que va a calentarse. El efecto pelicular restringe el flujo de corriente aprovechando la tendencia de una corriente eléctrica alterna ("CA") a volverse distribuida dentro de un conductor de tal modo que la densidad de corriente es la más grande cerca de la superficie del conductor y disminuye con unas profundidades mayores en el conductor. El efecto de proximidad puede usarse para restringir adicionalmente el flujo de corriente en el conductor colocando otra trayectoria de corriente de CA cerca de la corriente existente que fluye en el conductor. El efecto de proximidad también puede actuar para alargar la trayectoria de corriente. Las tiras de acoplamiento pueden usarse para producir y controlar tales efectos además de los sistemas y procesos analizados anteriormente. Por ejemplo, las tiras de acoplamiento pueden usarse con los diversos sistemas de control de potencia descritos anteriormente.

La figura 19 es una vista en sección transversal de una tira de acoplamiento 1900 ilustrativa. La tira de acoplamiento 1900 se usa para proporcionar señales de corriente de frecuencia alta a un medio volumétrico tal como un recubrimiento de aeronave 1902 para calentar el medio volumétrico. La tira de acoplamiento 1900 tiene una estructura de múltiples capas que incluye una primera capa dieléctrica 1908 sobre el medio volumétrico 1902, una capa conductora 1904 sobre la primera capa dieléctrica 1908, una segunda capa dieléctrica 1908 sobre la capa conductora 1904 y una capa de apantallamiento conductora 1906 sobre la segunda capa dieléctrica 1908.

La primera capa dieléctrica 1908 tiene un espesor D1. La capa conductora 1904 tiene un espesor D2. La segunda capa dieléctrica 1908 tiene un espesor D3. La capa de apantallamiento conductora 1906 tiene un espesor D4. El espesor global de la tira de acoplamiento 1900 es D5. La capa conductora 1904 puede hacerse de materiales conductores que incluyen, pero sin limitación, cobre, aleaciones de cobre (por ejemplo, latón o bronce), plata, aleaciones de plata, aluminio, aleaciones de aluminio, titanio, aleaciones de titanio, cromo, níquel, aleaciones de níquel, aleaciones a base de cobalto, acero resistente a la corrosión, grafito o una combinación de los mismos. La capa de apantallamiento conductora 1906 puede hacerse de materiales conductores que incluyen, pero sin limitación, cobre, aleaciones de cobre (por ejemplo, latón o bronce), plata, aleaciones de plata, aluminio, aleaciones de aluminio, titanio, aleaciones de titanio, cromo, níquel, aleaciones de níquel, aleaciones a base de cobalto, acero resistente a la corrosión, grafito o una combinación de los mismos. En algunas implementaciones, la capa de apantallamiento conductora 1906 puede formarse como una película de metal (por ejemplo, una película de cobre o una película de aluminio) o como una capa de metal tejido. Las capas dieléctricas 1908 pueden hacerse de materiales dieléctricos que incluyen, pero sin limitación, Kapton, Mylar, poli(tereftalato de etileno) (PET), politetrafluoroetileno (PTFE), caucho o una combinación de los mismos.

En algunas implementaciones, la tira de acoplamiento 1900 incluye una capa protectora sobre la capa de apantallamiento conductora. Por ejemplo, la capa protectora puede incluir, pero sin limitación, una o más capas de poliuretano, polifluoruro, pintura, lámina de sustitución de pintura, sellador o una combinación de los mismos.

Como se ilustra en la figura 20, las tiras de acoplamiento 1900 pueden disponerse sobre la superficie de un medio volumétrico, tal como un recubrimiento de aeronave 2000 (por ejemplo, un ala), para suministrar corriente eléctrica al medio volumétrico y calentar el medio volumétrico generando y conformando un flujo de corriente dentro del medio volumétrico. Las tiras de acoplamiento 1900 se extienden a lo largo de la superficie del recubrimiento de aeronave 2000 y están separadas entre sí. En algunas implementaciones, una o más tiras de acoplamiento 1900 incluyen una terminación de cortocircuito que acopla de forma conductora al menos una porción de una tira de acoplamiento (por ejemplo, la capa conductora 1904) al medio volumétrico 1902. Por ejemplo, una tira de acoplamiento 1900 puede terminar con un electrodo, tal como los analizados anteriormente, para formar un circuito cerrado (por ejemplo, un cortocircuito) entre la capa conductora 1904 contenida en la misma y el medio volumétrico 1902. La terminación de la tira de acoplamiento 1900 es el otro extremo de la tira, opuesto al extremo al que se suministra la corriente (por ejemplo, opuesto al extremo de entrada de alimentación). En algunas implementaciones, una o más tiras de acoplamiento 1900 terminan en un circuito abierto. Una terminación de circuito abierto significa que el extremo de terminación de la tira de acoplamiento 1900 se deja como un circuito abierto; no conectándose a una masa eléctrica o bien a través del medio volumétrico 1902 o bien a través de una capa de apantallamiento conductora de la tira de acoplamiento 1900. En algunas implementaciones, una o más tiras de acoplamiento 1900 terminan con un componente de ajuste de impedancia (por ejemplo, un elemento de circuito) conectado entre la tira de acoplamiento 1900 y el medio volumétrico 1902. Por ejemplo, una tira de acoplamiento 1900 puede terminar con una terminación capacitiva, resistiva o inductiva. Por ejemplo, puede conectarse un elemento de circuito tal como un condensador, una inductancia o una resistencia entre la capa conductora 1904 de una tira de acoplamiento 1900 y el medio volumétrico 1902.

Haciendo referencia a las figuras 19 y 20, un sistema de control de potencia (por ejemplo, el sistema de control de potencia 104 descrito anteriormente) se acopla a un extremo de cada una de las tiras de acoplamiento para alimentar cada tira con una corriente eléctrica. Por ejemplo, una línea de suministro de alimentación desde el sistema de control de potencia puede acoplarse a la capa conductora de cada tira portadora 1900 y uno cualquiera o ambos de los medios volumétricos 1902 (por ejemplo, el recubrimiento de aeronave 2000) pueden acoplarse a una masa eléctrica.

El sistema de control de potencia suministra una corriente de CA a cada tira portadora 1900. Por ejemplo, el sistema de control de potencia puede suministrar corriente de CA con una frecuencia entre 1 kHz y 450 MHz. En algunas implementaciones, la frecuencia está entre 1 MHz y 450 MHz. En algunas implementaciones, la frecuencia está entre 1 kHz y 1 MHz. El sistema de control de potencia puede configurarse para proporcionar entre 0,1 amperios y 200 amperios de corriente de CA a cada tira de acoplamiento 1900. Por ejemplo, una fuente de alimentación del sistema de control de potencia y una disposición eléctrica de las tiras de acoplamiento 1900 pueden configurarse para proporcionar una cantidad deseada de corriente (por ejemplo, entre 0,1 amperios y 200 amperios) a cada tira de acoplamiento 1900. Como un ejemplo general, si las tiras de acoplamiento 1900 se acoplan al sistema de control de potencia en serie una con otra, puede usarse una fuente de alimentación de 100 amperios para proporcionar 100 amperios de corriente a cada tira de acoplamiento 1900. Si se acoplan diez tiras de acoplamiento 1900 al sistema de control de potencia en paralelo una con otra, puede usarse una fuente de alimentación de 100 amperios para proporcionar 10 amperios de corriente a cada tira de acoplamiento 1900. Se debería hacer notar que este ejemplo supone que es igual la impedancia de cada tira de acoplamiento. Como se analiza a continuación, la impedancia de las tiras de acoplamiento 1900 puede sintonizarse de diversas formas para controlar la distribución de corriente entre las tiras de acoplamiento según pudiera desearse o requerirse para una aplicación de calentamiento particular.

La corriente de CA para calentar el recubrimiento de aeronave 1902 se proporciona a través de la capa conductora 1904. La corriente de CA proporcionada a través de la capa conductora 1904 genera (por ejemplo, por acoplamiento capacitivo e inductivo electromagnético) una corriente correspondiente en el recubrimiento de aeronave 1902 como se muestra en las figuras 22A-22B. Las figuras 22A-22B ilustran unas representaciones gráficas de salida de un análisis de elementos finitos (FEA) electromagnético que simula el funcionamiento de una tira de acoplamiento 1900 ilustrativa unida a un medio volumétrico conductor 1902. El medio volumétrico 1902 (por ejemplo, simulado como un recubrimiento de aeronave), la capa conductora 1904 y la capa de apantallamiento conductora 1906 se etiquetan en la representación gráfica mostrada en la figura 22A. En la figura 22B, no se muestran componentes individuales de la tira de acoplamiento 1900, y se etiquetan solo la tira de acoplamiento 1900 (representada en general) y el medio volumétrico 1902. La región etiquetada como 2206 en ambas representaciones gráficas representa el entorno de fondo (por ejemplo, la atmósfera). Ambas representaciones gráficas ilustran la densidad normalizada (en A/m²) de la corriente inducida en el medio volumétrico 1902 e indicada por la región sombreada 2204. La densidad de corriente en el medio volumétrico 1902 es máxima en una región estrecha 2204 cerca de la superficie del medio volumétrico 1902. Además, la representación gráfica en la figura 22A ilustra la intensidad de campo eléctrico normalizada (región de escala de grises claros 2202) dentro de las capas dieléctricas de la tira de acoplamiento 1900. En particular, la capa de apantallamiento conductora 1906 apantalla el entorno circundante 2206 frente a campos eléctricos producidos por la corriente que se desplaza a través de la capa conductora 1904, por ejemplo, para reducir o eliminar la radiación electromagnética y para proteger la tira de acoplamiento 1900 frente a la interferencia electromagnética externa. El medio volumétrico 1902 también sirve como una capa de apantallamiento, por ejemplo, minimizando o bloqueando los campos eléctricos. Por lo tanto, la capa de apantallamiento conductora 1906 y el medio volumétrico 1902 pueden, en implementaciones de la tira de acoplamiento 1900, servir para contener los campos eléctricos dentro de la tira de acoplamiento 1900 (por ejemplo, entre la capa de apantallamiento conductora 1906 y el medio volumétrico 1902). Este efecto reduce o evita la interferencia electromagnética entre el sistema de calentamiento y otros componentes eléctricos cercanos. Las implementaciones de la tira de acoplamiento 1900, en combinación con el medio volumétrico 1902, pueden lograr un desempeño operativo comparable a las líneas de transmisión de tipo de línea de cinta.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 19, el efecto de calentamiento de las tiras portadoras 1900 sobre el medio volumétrico y también la impedancia de cada tira portadora 1900 pueden ajustarse alterando características de la tira portadora tales como, por ejemplo, los espesores de las diversas capas 1904, 1906 y 1908; la anchura de la capa conductora; la distribución de la capa conductora; los materiales de cada capa - incluyendo sus constantes dieléctricas y propiedades de conductividad; o mediante la inclusión de componentes de ajuste de impedancia (por ejemplo, condensadores, inductancias y resistencias). Además, los efectos de calentamiento de la corriente generada en el medio volumétrico 1902 también pueden alterarse cambiando estas características que también sirven para ajustar el efecto de proximidad y la trayectoria de la corriente de calentamiento que se desplaza a través del medio volumétrico 1902, como se ha analizado anteriormente.

Por ejemplo, cada una de las capas 1904, 1906, 1908 puede formarse con unos espesores (D1-D4) respectivos que varían generalmente entre 0,00254 mm (0,1 milésimas de pulgada) y 2,54 cm (1 pulgada) o, en algunas implementaciones, entre 0,0127 mm (0,5 milésimas de pulgada) y 0,254 mm (10 milésimas de pulgada). En algunas implementaciones, la tira de acoplamiento 1900 puede formarse con diferentes distancias separando la capa conductora 1904 del medio volumétrico 1902 y separando la capa conductora 1904 de la capa de apantallamiento conductora 1906. En algunas implementaciones, estas distancias están relacionadas por una relación. Por ejemplo, la tira de acoplamiento 1900 puede formarse de tal modo que los espesores relativos D1 y D3 de las capas dieléctricas 1908 están relacionados por una relación. Por ejemplo, la relación D1:D3 puede variar entre 1:1 y 1:5 para algunas

implementaciones. La relación D1:D3 puede invertirse para variar entre 1:1 y 5:1 para otras implementaciones, por ejemplo, para obtener una densidad de corriente y/o un valor de impedancia deseados para una aplicación dada. En una implementación de ejemplo, D1 es de 0,0762 mm (3 milésimas de pulgada), D2 es de 0,0254 mm (1 milésimas de pulgada), D3 es de 0,0762 mm (3 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,0254 mm (1 milésimas de pulgada). En otra implementación de ejemplo, D1 es de 0,1829 mm (7,2 milésimas de pulgada), D2 es de 0,0356 mm (1,4 milésimas de pulgada), D3 es de 0,0609 mm (2,4 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,03556 mm (1,4 milésimas de pulgada). En otra implementación de ejemplo más, D1 es de 25,4 mm (1000 milésimas de pulgada), D2 es de 1,27 mm (50 milésimas de pulgada), D3 es de 12,7 mm (500 milésimas de pulgada) y D4 es de 1,27 mm (50 milésimas de pulgada). En otra implementación de ejemplo más, D1 es de 0,254 mm (10 milésimas de pulgada), D2 es de 0,0635 mm (2,5 milésimas de pulgada), D3 es de 1,27 mm (50 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,0635 mm (2,5 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 0,0609 mm (2,4 milésimas de pulgada), D2 es de 0,03556 mm (1,4 milésimas de pulgada), D3 es de 0,18288 mm (7,2 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,03556 mm (1,4 milésimas de pulgada). En un ejemplo adicional más, D1 es de 0,447 mm (17,6 milésimas de pulgada), D2 es de 0,2489 mm (9,8 milésimas de pulgada), D3 es de 0,6223 mm (24,5 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,25 mm (9,8 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 2,54 mm (100 milésimas de pulgada), D2 es de 0,51 mm (20 milésimas de pulgada), D3 es de 6,35 mm (250 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,51 mm (20 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 0,14 mm (5,5 milésimas de pulgada), D2 es de 0,06 mm (2,5 milésimas de pulgada), D3 es de 0,23 mm (9,0 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,0635 mm (2,5 milésimas de pulgada). En un ejemplo adicional más, D1 es de 3,81 cm (1,5 pulgadas), D2 es de 0,635 cm (0,25 pulgadas), D3 es de 5,588 cm (2,2 pulgadas) y D4 es de 0,635 cm (0,25 pulgadas). En otro ejemplo más, D1 es de 0,09652 mm (3,8 milésimas de pulgada), D2 es de 0,0508 mm (2 milésimas de pulgada), D3 es de 0,09652 mm (3,8 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,0508 mm (2 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 0,07366 mm (2,9 milésimas de pulgada), D2 es de 0,0381 mm (1,5 milésimas de pulgada), D3 es de 0,14732 mm (5,8 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,0635 mm (2,5 milésimas de pulgada). En un ejemplo adicional más, D1 es de 0,127 mm (5 milésimas de pulgada), D2 es de 0,0635 mm (2,5 milésimas de pulgada), D3 es de 0,64 mm (25 milésimas de pulgada) y D4 es de 3,81 cm (1,5 pulgadas). En otro ejemplo más, D1 es de 0,2794 mm (11 milésimas de pulgada), D2 es de 0,0762 mm (3 milésimas de pulgada), D3 es de 0,1397 mm (5,5 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,08 mm (3 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 0,53 mm (21 milésimas de pulgada), D2 es de 0,0381 mm (1,5 milésimas de pulgada), D3 es de 0,1778 mm (7 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,0635 mm (2,5 milésimas de pulgada). En un ejemplo adicional más, D1 es de 0,25 mm (10 milésimas de pulgada), D2 es de 0,0635 mm (2,5 milésimas de pulgada), D3 es de 0,0508 mm (2 milésimas de pulgada) y D4 es de 6,35 cm (2,5 pulgadas). En un ejemplo adicional más, D1 es de 11,43 cm (4,5 pulgadas), D2 es de 0,635 cm (0,25 pulgadas), D3 es de 3,81 cm (1,5 pulgadas) y D4 es de 0,635 cm (0,25 pulgadas). En otra implementación de ejemplo, D1 es de 0,0762 mm (3 milésimas de pulgada), D2 es de 0,0254 mm (1 milésimas de pulgada), D3 es de 0,0762 mm (3 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,0254 mm (1 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 0,25908 mm (10,2 milésimas de pulgada), D2 es de 0,0889 mm (3,5 milésimas de pulgada), D3 es de 1,036 mm (40,8 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,0635 mm (2,5 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 0,12192 mm (4,8 milésimas de pulgada), D2 es de 0,013 mm (0,5 milésimas de pulgada), D3 es de 0,37 mm (14,4 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,0127 mm (0,5 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 0,381 mm (15 milésimas de pulgada), D2 es de 0,03556 mm (1,4 milésimas de pulgada), D3 es de 0,0762 mm (3 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,03556 mm (1,4 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 2,8702 mm (113 milésimas de pulgada), D2 es de 0,254 mm (10 milésimas de pulgada), D3 es de 0,71755 mm (28,25 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,254 mm (10 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 3,2258 mm (127 milésimas de pulgada), D2 es de 0,127 mm (5 milésimas de pulgada), D3 es de 6,4516 mm (254 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,254 mm (10 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 1,3462 mm (53 milésimas de pulgada), D2 es de 0,3048 mm (12 milésimas de pulgada), D3 es de 4,0386 mm (159 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,3048 mm (12 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 0,3302 mm (13 milésimas de pulgada), D2 es de 0,03556 mm (1,4 milésimas de pulgada), D3 es de 0,06604 mm (2,6 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,03556 mm (1,4 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 0,5842 mm (23 milésimas de pulgada), D2 es de 0,1016 mm (4 milésimas de pulgada), D3 es de 1,1684 mm (46 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,1016 mm (4 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 0,2921 mm (11,5 milésimas de pulgada), D2 es de 0,07112 mm (2,8 milésimas de pulgada), D3 es de 1,4605 mm (57,5 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,07112 mm (2,8 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 0,254 mm (10 milésimas de pulgada), D2 es de 0,03556 mm (1,4 milésimas de pulgada), D3 es de 0,0635 mm (2,5 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,03556 mm (1,4 milésimas de pulgada).

Además, la anchura de la capa conductora 1904 generalmente puede variar entre varias pulgadas (1 pulgada = 2,54 cm) y varias milésimas de pulgada transversalmente a la capa. La figura 21 representa una vista superior de varias tiras de acoplamiento ilustrativas (los ejemplos 1-9) para ilustrar diversas configuraciones de la capa conductora 1904 dentro de una tira de acoplamiento 1900. Se debería hacer notar que las tiras de acoplamiento 1900 en la figura 21 se representan con las capas por encima de la capa conductora 1904 (por ejemplo, la segunda capa dieléctrica y la capa de apantallamiento conductora) retiradas para fines ilustrativos. El área en sección transversal de la capa conductora 1904 puede variarse a lo largo de su longitud. Por ejemplo, la anchura de la capa conductora 1904 puede variar a lo largo de su longitud para sintonizar la impedancia de la tira de acoplamiento 1900 y, en algunos casos, para sintonizar las densidades de corriente en el medio volumétrico y la capa de conducción. Los ejemplos 1-9 muestran varios patrones de variación de anchura ilustrativos para una capa conductora 1904 de una tira de acoplamiento 1900. Por ejemplo, la anchura de la capa conductora 1904 transversalmente a la tira de acoplamiento 1900 puede variar

entre una anchura máxima (en milésimas de pulgada [1 milésima de pulgada = 0,0254 mm]). En un ejemplo adicional más, D1 es de 3,81 cm (1,5 pulgadas), D2 es de 0,635 cm (0,25 pulgadas), D3 es de 5,588 cm (2,2 pulgadas) y D4 es de 0,635 cm (0,25 pulgadas). En otro ejemplo más, D1 es de 0,09652 mm (3,8 milésimas de pulgada), D2 es de 0,0508 mm (2 milésimas de pulgada), D3 es de 0,09652 mm (3,8 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,0508 mm (2 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 0,07366 mm (2,9 milésimas de pulgada), D2 es de 0,0381 mm (1,5 milésimas de pulgada), D3 es de 0,14732 mm (5,8 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,0635 mm (2,5 milésimas de pulgada). En un ejemplo adicional más, D1 es de 0,127 mm (5 milésimas de pulgada), D2 es de 0,0635 mm (2,5 milésimas de pulgada), D3 es de 0,64 mm (25 milésimas de pulgada) y D4 es de 3,81 cm (1,5 pulgadas). En otro ejemplo más, D1 es de 0,2794 mm (11 milésimas de pulgada), D2 es de 0,0762 mm (3 milésimas de pulgada), D3 es de 0,1397 mm (5,5 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,08 mm (3 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 0,53 mm (21 milésimas de pulgada), D2 es de 0,03 mm (1,5 milésimas de pulgada), D3 es de 0,0762 mm (7 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,0635 mm (2,5 milésimas de pulgada). En un ejemplo adicional más, D1 es de 0,25 mm (10 milésimas de pulgada), D2 es de 0,0635 mm (2,5 milésimas de pulgada), D3 es de 0,0508 mm (2 milésimas de pulgada) y D4 es de 6,35 cm (2,5 pulgadas). En un ejemplo adicional más, D1 es de 11,43 cm (4,5 pulgadas), D2 es de 0,635 cm (0,25 pulgadas), D3 es de 3,81 cm (1,5 pulgadas) y D4 es de 0,635 cm (0,25 pulgadas). En otra implementación de ejemplo, D1 es de 0,0762 mm (3 milésimas de pulgada), D2 es de 0,0254 mm (1 milésimas de pulgada), D3 es de 0,0762 mm (3 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,0254 mm (1 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 0,25908 mm (10,2 milésimas de pulgada), D2 es de 0,0889 mm (3,5 milésimas de pulgada), D3 es de 1,036 mm (40,8 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,0635 mm (2,5 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 0,12192 mm (4,8 milésimas de pulgada), D2 es de 0,013 mm (0,5 milésimas de pulgada), D3 es de 0,37 mm (14,4 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,0127 mm (0,5 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 0,381 mm (15 milésimas de pulgada), D2 es de 0,03556 mm (1,4 milésimas de pulgada), D3 es de 0,0762 mm (3 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,03556 mm (1,4 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 2,8702 mm (113 milésimas de pulgada), D2 es de 0,254 mm (10 milésimas de pulgada), D3 es de 0,71755 mm (28,25 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,254 mm (10 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 3,2258 mm (127 milésimas de pulgada), D2 es de 0,127 mm (5 milésimas de pulgada), D3 es de 6,4516 mm (254 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,254 mm (10 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 1,3462 mm (53 milésimas de pulgada), D2 es de 0,3048 mm (12 milésimas de pulgada), D3 es de 4,0386 mm (159 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,3048 mm (12 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 0,3302 mm (13 milésimas de pulgada), D2 es de 0,03556 mm (1,4 milésimas de pulgada), D3 es de 0,06604 mm (2,6 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,03556 mm (1,4 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 0,5842 mm (23 milésimas de pulgada), D2 es de 0,1016 mm (4 milésimas de pulgada), D3 es de 1,1684 mm (46 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,1016 mm (4 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 0,2921 mm (11,5 milésimas de pulgada), D2 es de 0,07112 mm (2,8 milésimas de pulgada), D3 es de 1,4605 mm (57,5 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,07112 mm (2,8 milésimas de pulgada). En otro ejemplo más, D1 es de 0,254 mm (10 milésimas de pulgada), D2 es de 0,03556 mm (1,4 milésimas de pulgada), D3 es de 0,0635 mm (2,5 milésimas de pulgada) y D4 es de 0,03556 mm (1,4 milésimas de pulgada).

Además, la anchura de la capa conductora 1904 generalmente puede variar entre varias pulgadas (1 pulgada = 2,54 cm) y varias milésimas de pulgada transversalmente a la capa. La figura 21 representa una vista superior de varias tiras de acoplamiento ilustrativas (los ejemplos 1-9) para ilustrar diversas configuraciones de la capa conductora 1904 dentro de una tira de acoplamiento 1900. Se debería hacer notar que las tiras de acoplamiento 1900 en la figura 21 se representan con las capas por encima de la capa conductora 1904 (por ejemplo, la segunda capa dieléctrica y la capa de apantallamiento conductora) retiradas para fines ilustrativos. El área en sección transversal de la capa conductora 1904 puede variarse a lo largo de su longitud. Por ejemplo, la anchura de la capa conductora 1904 puede variar a lo largo de su longitud para sintonizar la impedancia de la tira de acoplamiento 1900 y, en algunos casos, para sintonizar las densidades de corriente en el medio volumétrico y la capa de conducción. Los ejemplos 1-9 muestran varios patrones de variación de anchura ilustrativos para una capa conductora 1904 de una tira de acoplamiento 1900. Por ejemplo, la anchura de la capa conductora 1904 transversalmente a la tira de acoplamiento 1900 puede variar entre una anchura máxima y una anchura mínima. En algunas implementaciones, la anchura máxima es tan poco como 1,5 veces más grande que la anchura mínima. En otras implementaciones, la anchura máxima tanto como 100 veces más grande que la anchura mínima. Por ejemplo, la anchura de la capa conductora 1904 mostrada en el ejemplo 1 puede ser de 3,81 cm (1,5 pulgadas) en su ubicación más grande (por ejemplo, el extremo de arriba) y de 2,54 cm (1 pulgada) en su ubicación más estrecha (por ejemplo, el extremo de abajo). En otro ejemplo, la anchura de la capa conductora 1904 mostrada en el ejemplo 1 puede ser de 2,54 cm (1 pulgada) en su ubicación más grande (por ejemplo, el extremo de arriba) y de 0,254 mm (10 milésimas de pulgada) en su ubicación más estrecha (por ejemplo, el extremo de abajo).

En algunas implementaciones, el espesor de la capa conductora 1904 puede variar a lo largo de su longitud. Por ejemplo, la anchura de la capa conductora 1904 puede variar a lo largo de su longitud para sintonizar la impedancia de la tira de acoplamiento 1900. En algunas implementaciones, tanto el espesor como la anchura y el material de la capa conductora 1904 pueden variar a lo largo de su longitud.

En algunas implementaciones, la impedancia de la línea de acoplamiento 1900 puede ajustarse incluyendo componentes de ajuste de impedancia (por ejemplo, condensadores, inductancias y resistencias) en una o más ubicaciones a lo largo de la longitud de la capa conductora 1904. Por ejemplo, la capa conductora puede separarse

en varios segmentos a lo largo de la longitud con uno o más componentes de ajuste de impedancia que conectan los segmentos. Por ejemplo, con referencia al ejemplo 4 de tira de acoplamiento de la figura 21, la capa conductora 1904 puede separarse en dos segmentos en la región 2102 y puede conectarse eléctricamente un componente de ajuste de impedancia (por ejemplo, un condensador, una inductancia, una resistencia o una combinación de los mismos) entre cada segmento. Como alternativa o además, puede conectarse un componente de ajuste de impedancia a la capa conductora como un elemento en derivación entre la capa conductora 1904 y o bien el medio volumétrico 1902 o bien la capa de apantallamiento conductora 1906.

En algunas implementaciones, la anchura, el espesor o ambos de la capa de apantallamiento conductora 1906 pueden variar a lo largo de la longitud de la tira de acoplamiento 1900. En algunas implementaciones, la anchura, el espesor o ambos de las capas dieléctricas 1908 pueden variar a lo largo de la longitud de la tira de acoplamiento 1900. Por ejemplo, en algunas implementaciones, las áreas en sección transversal de la capa conductora 1904, las capas dieléctricas 1908 y la capa de apantallamiento conductora 1906 pueden variar a lo largo de la longitud de la tira 1900.

La figura 23 ilustra diagramas de distribución (las distribuciones A-E) de varias disposiciones ilustrativas para una capa conductora 1904 dentro de una tira de acoplamiento 1900. Inicialmente, en una disposición lineal (como se representa en la figura 21), la capa conductora 1904 se extiende linealmente a lo largo de la longitud de la tira de acoplamiento 1900. Las distribuciones A-E representan unas tiras de acoplamiento 1900 en las que la capa conductora 1904 se dispone para seguir un patrón o trayectoria no lineal. Específicamente, los ejemplos mostrados en la figura 23 representan la capa conductora 1904 dispuesta en diversos patrones serpenteantes diferentes. Los patrones serpenteantes representados sitúan segmentos de la capa conductora 1904 uno al lado de otro en la dirección de la anchura de la tira de acoplamiento 1900. Tales disposiciones permiten reducir la longitud global de la tira de acoplamiento 1900 al tiempo que se mantiene una longitud total deseada de la capa conductora 1904. En algunas aplicaciones, mantener una longitud relativamente uniforme para la capa conductora 1904 en diferentes tiras de acoplamiento 1900 ayuda a mantener una impedancia consistente entre unas tiras de acoplamiento 1900 de diferentes longitudes. Por ejemplo, en cada una de las distribuciones A y B, la capa conductora 1904 puede formarse para dar la misma longitud total. Sin embargo, la longitud global de la tira de acoplamiento 1900 en la distribución B puede acortarse a la mitad de la longitud de una tira de acoplamiento 1900 con una capa conductora en una disposición lineal (por ejemplo, como se representa en la figura 21). De forma similar, la longitud global de la tira de acoplamiento 1900 en la distribución C puede acortarse a un tercio de la longitud de una tira de acoplamiento 1900 con una capa conductora en una disposición lineal. Además, las tiras de acoplamiento 1900 de longitud más corta pueden colocarse en unas ubicaciones restringidas en el espacio en un fuselaje de aeronave. Por ejemplo, las tiras de acoplamiento 1900 con una capa conductora dispuesta de acuerdo con las distribuciones A-E pueden colocarse sobre áreas estrechas de un ala (por ejemplo, puntas de ala) en donde una tira de acoplamiento 1900 con la disposición de capa conductora lineal podría ser demasiado larga como para encajar.

Cada una de las distribuciones A-E ilustra que la tira de acoplamiento 1900 tiene una capa conductora 1904 dispuesta a lo largo de una trayectoria no lineal desde un extremo de entrada 2302 a un extremo de terminación 2304. La distribución A ilustra una tira de acoplamiento 1900 con una capa conductora 1904 en una disposición de superposición doble. La capa conductora 1904 en la distribución A incluye dos segmentos dispuestos uno al lado de otro, por ejemplo, en una trayectoria en forma de U desde el extremo de entrada 2302 al extremo de terminación 2304. La figura 24A representa una vista en sección transversal de una tira de acoplamiento 1900 de acuerdo con la distribución A tomada en A-A'.

La distribución B ilustra una tira de acoplamiento 1900 con una capa conductora 1904 en una disposición de superposición triple. La capa conductora 1904 en la distribución B incluye tres segmentos dispuestos uno al lado de otro, por ejemplo, en una trayectoria en forma de S desde el extremo de entrada 2302 al extremo de terminación 2304. La figura 24B representa una vista en sección transversal de una tira de acoplamiento 1900 de acuerdo con la distribución B tomada en B-B'.

Las distribuciones C y D ilustran unas tiras de acoplamiento 1900 con una capa conductora 1904 en diferentes variaciones de una disposición de superposición cuádruple. La capa conductora 1904 en cada una de las distribuciones C y D incluye cuatro segmentos dispuestos uno al lado de otro. En la distribución C, los segmentos de la capa conductora 1904 se disponen, por ejemplo, en una trayectoria en forma de M (o en una trayectoria en forma de W) desde el extremo de entrada 2302 al extremo de terminación 2304. En la distribución D, los segmentos de la capa conductora 1904 se disponen, por ejemplo, como una disposición de superposición doble plegada a lo largo de sí misma. También puede aplicarse una técnica similar a la configuración de terna plegando la capa conductora de terna 1904 a lo largo de sí misma. La figura 24C representa una vista en sección transversal de una tira de acoplamiento 1900 de acuerdo con la distribución C y la distribución D tomada en C-C'.

La distribución E ilustra una disposición más general para una capa conductora 1904. Por ejemplo, la distribución E representa un ejemplo de una capa conductora 1904 con múltiples segmentos de diferentes anchuras situados uno al lado de otro. Además, en algunas implementaciones, una capa conductora 1904 puede incluir unas interconexiones 2306 entre segmentos en diversas posiciones entre los segmentos como se muestra en la distribución E. En algunas implementaciones, una tira de acoplamiento 1900 también puede incluir múltiples entradas de señal 2302.

La figura 25A representa una vista en sección transversal de una configuración ilustrativa para unir una tira de acoplamiento 1900 a un medio volumétrico 1902. Más específicamente, la figura 25A representa una configuración de unión por debajo. En una configuración de unión por debajo, un material adhesivo 2502 dispuesto entre la parte de debajo de la tira de acoplamiento 1900 (por ejemplo, la capa dieléctrica de debajo) y la superficie del medio volumétrico 1902. Por ejemplo, el material adhesivo puede ser, pero sin limitación, una capa de un adhesivo de doble cara (por ejemplo, una cinta de doble cara), una resina o una resina epoxídica.

La figura 25B representa una vista en sección transversal de otra configuración ilustrativa para unir una tira de acoplamiento 1900 a un medio volumétrico 1902. Más específicamente, la figura 25B representa una configuración de unión por arriba. En una configuración de unión por arriba, se aplica una capa adhesiva 2504 sobre la tira de acoplamiento 1900 para unir la tira de acoplamiento 1900 al recubrimiento de aeronave 1902. La capa adhesiva 2504 puede ser, por ejemplo, un revestimiento adhesivo, una lámina adhesiva o una cinta.

La figura 26A es una vista en sección transversal de una tira de acoplamiento 1900 con una capa de debajo adhesiva de doble cara antes de la instalación sobre un medio volumétrico 1902 y la figura 26B es una vista en sección transversal de la tira de acoplamiento 1900 de la figura 26A instalada sobre un medio volumétrico 1902. En algunas implementaciones, tales como una configuración de unión por debajo, una tira de acoplamiento 1900 incluye una capa de debajo adhesiva 2608. La capa de debajo adhesiva puede formarse a partir de un material adhesivo de doble cara (por ejemplo, una cinta de doble cara). En tales implementaciones, el material adhesivo de doble cara puede servir como la capa dieléctrica de debajo (por ejemplo, la capa dieléctrica de debajo 1908 de la figura 19). En algunas implementaciones, la capa de debajo adhesiva 2608 puede ser, por ejemplo, un revestimiento adhesivo o una lámina adhesiva aplicada a la superficie de debajo de la capa dieléctrica de debajo 1908. Antes de la instalación, una tira de acoplamiento 1900 con una capa de debajo adhesiva 2608 puede incluir un forro 2610 sobre la capa de debajo adhesiva 2608. El forro 2610 puede ser, por ejemplo, una capa despegable. Por ejemplo, el forro 2610 puede proteger la capa de debajo adhesiva 2608 antes de la instalación. Durante la instalación, el forro 2610 puede retirarse de la capa de debajo adhesiva 2608 para exponer una superficie adhesiva del mismo, de tal modo que la tira de acoplamiento 1900 puede unirse a la superficie del medio volumétrico 1902.

En algunas implementaciones, pueden incluirse una o más capas adhesivas 2604 y 2606 para unir la capa dieléctrica 1908 a la capa conductora 1904 y/o para unir la capa de apantallamiento conductora 1906 a la capa dieléctrica 1908. En algunas implementaciones, la tira de acoplamiento 1900 incluye una capa protectora 2602 sobre la capa de apantallamiento conductora 1906. Por ejemplo, la capa protectora 2602 puede incluir, pero sin limitación, una o más capas de poliuretano, polifluoruro, pintura, lámina de sustitución de pintura, sellador o una combinación de los mismos.

En algunas aplicaciones, puede ser necesario que se caliente un medio volumétrico no conductor. En tales situaciones, los sistemas de calentamiento y las tiras de acoplamiento descritos en el presente documento pueden modificarse para calentar un medio volumétrico no conductor en tales situaciones. Por ejemplo, puede usarse una capa embebida con el sistema de calentamiento de la tira de acoplamiento para calentar un medio volumétrico no conductor.

Las figuras 27A-27F representan vistas en sección transversal de diversas implementaciones de tiras de acoplamiento embebidas. La figura 27A ilustra la tira de acoplamiento 2700 que es similar a la tira de acoplamiento 1900 de la figura 19. Al igual que la tira de acoplamiento 1900, la tira de acoplamiento 2700 incluye/tiene una estructura de múltiples capas que incluye una primera capa dieléctrica 1908 sobre el medio volumétrico 1902, una capa conductora 1904 sobre la primera capa dieléctrica 1908, una segunda capa dieléctrica 1908 sobre la capa conductora 1904 y una capa de apantallamiento conductora 1906 sobre la segunda capa dieléctrica 1908 y, opcionalmente, una capa protectora 2706 sobre la capa de apantallamiento conductora 1906. La capa protectora 2706 es similar a la capa protectora 2602 descrita anteriormente. La tira de acoplamiento 2700 difiere de la tira de acoplamiento 1900 en que esta está unida a la superficie de un medio volumétrico no conductor 2702 y el medio volumétrico no conductor 2702 incluye un material conductor volumétrico 2704 embebido en el mismo. Por ejemplo, el material conductor volumétrico 2704 puede formarse como una película de metal, una cinta de metal o como una capa de metal tejido embebida dentro del medio volumétrico no conductor 2702. Por ejemplo, el medio volumétrico no conductor 2702 puede ser un material estratificado (por ejemplo, un material compuesto de fibra de carbono, un material compuesto de fibra de vidrio o un material compuesto de Kevlar) con el material volumétrico conductor 2704 dispuesto entre capas del medio volumétrico no conductor 2702. El material conductor volumétrico 2704 puede hacerse de materiales conductores que incluyen, pero sin limitación, cobre, aleaciones de cobre (por ejemplo, latón o bronce), plata, aleaciones de plata, aluminio, aleaciones de aluminio, titanio, aleaciones de titanio, cromo, níquel, aleaciones de níquel, aleaciones a base de cobalto, acero resistente a la corrosión, grafito o una combinación de los mismos.

En cada uno de los ejemplos ilustrados en las figuras 27A-27F, la corriente de CA que se pasa a través de la capa conductora 1904 de la tira de acoplamiento 2700 genera una corriente de calentamiento en el material conductor volumétrico 2704 en lugar de en el medio volumétrico no conductor 2702. El calor generado en el material conductor volumétrico 2704 se transfiere entonces al medio volumétrico no conductor 2702 (por ejemplo, por conducción). En algunos ejemplos, si el medio volumétrico no conductor exhibe algún comportamiento conductor eléctrico, además de la capa de material conductor volumétrico, también se generará calor en la porción no conductora.

La figura 27B ilustra una implementación de una tira de acoplamiento 2700 que incluye solo una capa protectora 2706, una capa conductora 1904 y una capa dieléctrica 1908. La tira de acoplamiento 2700 se dispone con la capa protectora 2706 sobre la capa conductora 1904 y con la capa conductora 1904 sobre la capa dieléctrica 1908. La capa dieléctrica 1908 se separó del material volumétrico conductor 2704 embebido mediante una porción del medio volumétrico no conductor 2702.

La figura 27C ilustra una implementación de una tira de acoplamiento 2700 que incluye una capa conductora 1904 embebida dentro del medio volumétrico no conductor 2702. La tira de acoplamiento 2700 en la figura 27C incluye una capa protectora 2706, una capa de apantallamiento conductora 1906, una capa dieléctrica 1908 y una capa conductora 1904. La tira de acoplamiento 2700 se dispone con la capa protectora 2706, la capa de apantallamiento conductora 1906 y la capa dieléctrica 1908 sobre la capa conductora 1904. La capa conductora 1904 se embebe dentro del medio volumétrico no conductor 2702 y está separada del material volumétrico conductor 2704 por una porción del medio volumétrico no conductor 2702. Por ejemplo, la capa conductora 1904 y el material volumétrico conductor 2704 pueden disponerse cada uno entre diferentes capas del medio volumétrico no conductor 2702.

La figura 27D ilustra una versión de la tira de acoplamiento 2700 representada en la figura 27C, pero sin la capa protectora 2706, la capa de apantallamiento conductora 1906 y la capa dieléctrica 1908.

La figura 27E ilustra una versión de la tira de acoplamiento 2700 representada en la figura 27D, pero con la orientación de la capa conductora 1904 y el material volumétrico conductor 2704 invertida. Es decir, en la disposición de la tira de acoplamiento 2700 representada en la figura 27E, el material volumétrico conductor 2704 se sitúa más cerca de una superficie del medio volumétrico no conductor 2702 que la capa conductora 1904.

La figura 27F ilustra una implementación de una tira de acoplamiento 2700 que incluye una capa conductora 1904 y una capa de apantallamiento conductora 1906 embebidas dentro del medio volumétrico no conductor 2702. En la disposición de la tira de acoplamiento 2700 representada en la figura 27F, porciones del medio volumétrico no conductor 2702 (por ejemplo, capas del medio volumétrico no conductor 2702) separan la capa conductora 1904 de la capa de apantallamiento conductora 1906 y del material volumétrico conductor 2704. El medio volumétrico no conductor 2702 cumple un fin similar al de las capas dieléctricas 1908 en la tira de acoplamiento 1900 mostrada en la figura 19.

La figura 28 representa diagramas de una implementación de un conector de tira de acoplamiento 2802. El diagrama 2805 es un diagrama de circuito del conector 2802. El conector 2802 incluye una red de ajuste de impedancia 2804 integrada. La red de ajuste de impedancia 2804 se acopla eléctricamente entre una interfaz de señal de entrada 2806 y la tira de acoplamiento 1900. Por ejemplo, la interfaz de señal de entrada 2806 puede ser una conexión de cable coaxial. Un terminal de entrada 2810 de la interfaz de señal de entrada 2806 (por ejemplo, un hilo central de una conexión de cable coaxial) se acopla a la capa conductora 1904 de la tira de acoplamiento 1900 mediante un conexionado 2808. El/los terminal(es) de masa 2814 de la interfaz de señal de entrada 2806 (por ejemplo, el apantallamiento de una conexión de cable coaxial) se acopla(n) a uno o ambos del medio volumétrico 1902 o la capa de apantallamiento conductora 1906 de la tira de acoplamiento 1900 mediante uno o más conexionados 2812.

La red de ajuste de impedancia 2804 está configurada para sintonizar la impedancia de entrada de la tira de acoplamiento 1900 a un nivel deseado según se mide en la interfaz de señal de entrada 2806. La red de ajuste de impedancia 2804 puede ser una red de ajuste de impedancia fija o variable. Por ejemplo, la red de ajuste de impedancia 2804 puede implementarse como cualquiera de las redes de ajuste de impedancia descritas anteriormente con referencia a las figuras 12-15B. En el diagrama 2850, la red de ajuste de impedancia 2804 se implementa como un condensador C1 en derivación entre una masa conectada a uno cualquiera o a ambos de la capa de apantallamiento conductora 1906 de la tira de acoplamiento 1900 y el medio volumétrico 1902 (o un material conductor volumétrico 2704 si se implementa para un medio volumétrico no conductor).

La figura 29 representa diagramas de otra implementación de un conector de tira de acoplamiento 2902. El conector 2902 incluye dos interfaces de señal de entrada 2906A y 2906B, por ejemplo, para acoplar y encadenar múltiples tiras de acoplamiento 1900 entre sí. El diagrama 2905 es un diagrama de circuito del conector 2902. El conector 2902 incluye una red de ajuste de impedancia 2904 integrada. La red de ajuste de impedancia 2904 incluye unos componentes de ajuste de impedancia 2904A, 2904B, 2904C en serie y en derivación acoplados eléctricamente entre las interfaces de señal de entrada 2906A, 2906B y la tira de acoplamiento 1900. Por ejemplo, las interfaces de señal de entrada 2906A y 2906B pueden ser unas conexiones de cable coaxial. Los terminales de entrada 22910 respectivos de las interfaces de señal de entrada 2906A, 2906B se acoplan a la capa conductora 1904 de la tira de acoplamiento 1900 y entre sí mediante un conexionado 2808. El/los terminal(es) de masa 2914 respectivo(s) de las interfaces de señal de entrada 2906A, 2906B se acopla(n) a uno o ambos del medio volumétrico 1902 o la capa de apantallamiento conductora 1906 de la tira de acoplamiento 1900 mediante uno o más conexionados 2912.

En el diagrama 2950, la red de ajuste de impedancia 2804 se implementa como un condensador C1 en serie y dos condensadores C2, C3 en derivación entre una masa conectada a uno cualquiera o a ambos de la capa de apantallamiento conductora 1906 de la tira de acoplamiento 1900 y el medio volumétrico 1902 (o un material conductor volumétrico 2704 si se implementa para un medio volumétrico no conductor).

La figura 30 es un diagrama de bloques de un primer sistema de calentamiento de medio volumétrico 3000 ilustrativo que utiliza unas tiras de acoplamiento 1900 de acuerdo con implementaciones de la presente divulgación. El sistema de calentamiento 3000 incluye un número de tiras de acoplamiento 1900 separadas entre sí y unidas al medio volumétrico 1902 (por ejemplo, un ala de aeronave). Cada tira de acoplamiento 1900 se conecta al sistema de control de potencia 3002. El sistema de control de potencia 3002 puede implementarse como cualquiera de las realizaciones del sistema de control de potencia 104 analizadas anteriormente. El sistema de control de potencia 3002 alimenta cada tira con una corriente de CA.

Un extremo de cada tira de acoplamiento 1900 (denominado en el presente documento "extremo de entrada") se acopla a un sistema de control de potencia 3002 a través de un conector 3004. En el ejemplo ilustrado, el extremo opuesto de cada tira de acoplamiento 1900 (denominado en el presente documento "extremo de terminación") tiene o bien una terminación de circuito abierto 3006 o bien una terminación de circuito cerrado 3008. Las tiras de acoplamiento 1900 se disponen en un patrón alternante en donde cada par vecino de tiras de acoplamiento 1900 tiene un tipo diferente de terminación. Por ejemplo, una tira de acoplamiento 1900 en cada par vecino se dota de una terminación de circuito abierto 3006 en su extremo de terminación, mientras que la otra tira de acoplamiento 1900 en el par se dota de una terminación de circuito cerrado 3008. Las terminaciones de circuito abierto 3006 indican que el extremo de terminación de la tira de acoplamiento 1900 se deja como un circuito abierto; no conectándose a una masa eléctrica o bien a través del medio volumétrico 1902 o bien a través de una capa de apantallamiento conductora de la tira de acoplamiento 1900. En algunas implementaciones, las terminaciones de circuito cerrado 3008 son cortocircuitos entre la capa conductora de la tira de acoplamiento 1900 y uno cualquiera o ambos del medio volumétrico 1902 y una capa de apantallamiento conductora de la tira de acoplamiento 1900. En algunas implementaciones, las terminaciones de circuito cerrado 3008 son terminaciones capacitivas en donde se conecta un condensador entre la capa conductora de la tira de acoplamiento 1900 y una masa eléctrica. Por ejemplo, el condensador se conecta entre la capa conductora de la tira de acoplamiento 1900 y o bien el medio volumétrico 1902 o bien la capa de apantallamiento conductora de la tira de acoplamiento 1900. En algunas implementaciones, las terminaciones de circuito cerrado 3008 son terminaciones inductivas en donde se conecta una inductancia entre la capa conductora de la tira de acoplamiento 1900 y una masa eléctrica. Por ejemplo, la inductancia se conecta entre la capa conductora de la tira de acoplamiento 1900 y o bien el medio volumétrico 1902 o bien la capa de apantallamiento conductora de la tira de acoplamiento 1900. En algunas implementaciones, las terminaciones de circuito cerrado 3008 son terminaciones resistivas en donde se conecta una resistencia entre la capa conductora de la tira de acoplamiento 1900 y una masa eléctrica. Por ejemplo, la resistencia se conecta entre la capa conductora de la tira de acoplamiento 1900 y o bien el medio volumétrico 1902 o bien la capa de apantallamiento conductora de la tira de acoplamiento 1900.

Pueden aplicarse tipos de terminación complementarios a unas tiras de acoplamiento 1900 vecinas para proporcionar una impedancia de entrada deseada en el sistema de control de potencia 3002, para proporcionar una distribución de calor deseada transversalmente al medio volumétrico 1902, o una combinación de los mismos. Por ejemplo, las tiras de acoplamiento 1900 pueden instalarse sobre el medio volumétrico 1902 con las tiras de acoplamiento 1900 vecinas que tienen tipos de terminación complementarios. Por ejemplo, las terminaciones de las tiras de acoplamiento 1900 vecinas pueden alternar entre unas terminaciones de circuito abierto 3006 y unas terminaciones de cortocircuito (por ejemplo, una terminación de circuito cerrado 3008 implementada como cortocircuitos). En otro ejemplo, las terminaciones de las tiras de acoplamiento 1900 vecinas pueden alternar entre una terminación de circuito cerrado 3008 implementada como unas terminaciones capacitivas y la terminación de circuito cerrado 3008 implementada como unas terminaciones inductivas.

La figura 31 es un diagrama de bloques de un segundo sistema de calentamiento de medio volumétrico 3100 ilustrativo que utiliza unas tiras de acoplamiento 1900 de acuerdo con implementaciones de la presente divulgación. El sistema de calentamiento 3100 es similar al sistema de calentamiento 3000 descrito anteriormente con la adición de un sistema de control 3102 que está configurado para accionar unas terminaciones variables 3106 unidas al extremo de terminación de cada tira de acoplamiento 1900. Las terminaciones variables 3106 incluyen una terminación conmutable. En algunas implementaciones, las terminaciones variables 3106 están configuradas para conmutar entre una terminación de cortocircuito y una terminación de circuito abierto. Por ejemplo, las terminaciones variables 3106 incluyen un conmutador controlable acoplado entre la capa conductora de la tira de acoplamiento 1900 y una masa eléctrica. El conmutador controlable puede implementarse como un conmutador electrónico (por ejemplo, un transistor, un diodo de potencia, un tiristor, un rectificador controlado de silicio, etc.) o un conmutador mecánico (por ejemplo, un relé). Por ejemplo, el conmutador controlable se conecta entre la capa conductora de la tira de acoplamiento 1900 y o bien el medio volumétrico 1902 o bien la capa de apantallamiento conductora de la tira de acoplamiento 1900. Una salida del sistema de control se acopla al terminal de control del conmutador controlable.

La terminación de cada tira de acoplamiento 1900 puede cambiarse entre un circuito abierto y un cortocircuito abriendo y cerrando el conmutador controlable (o apagando y encendiendo un conmutador electrónico). Por ejemplo, el sistema de control 3102 controla las operaciones de las terminaciones variables 3106 para una tira de acoplamiento 1900 accionando el conmutador controlable para cambiar el tipo de terminación de la tira de acoplamiento 1900 según sea necesario para calentar el medio volumétrico 1902. En algunas implementaciones, el sistema de control 3102 puede controlar la terminación variable 3106 de cada tira de acoplamiento de forma independiente. En algunas implementaciones, el sistema de control 3102 puede controlar las terminaciones variables 3106 de un grupo (por

ejemplo, un par o un grupo más grande) de tiras de acoplamiento en sincronización entre sí. En algunas implementaciones, el sistema de control 3102 puede controlar la conmutación de las terminaciones variables 3106 de una o más tiras de acoplamiento 1900 en intervalos regulares, por ejemplo, de acuerdo con un ciclo operativo regular. El ciclo operativo para conmutar las terminaciones variables 3106 puede variar entre 0,01 Hz y 100 Hz.

En algunas implementaciones, el sistema de control 3102 controla las operaciones de las terminaciones variables 3106 conmutando las mismas de forma alterna entre terminaciones de circuito abierto y de circuito cerrado. Por ejemplo, el sistema de control 3102 conmuta la mitad de las terminaciones variables 3106 a terminaciones de cortocircuito y la mitad de las terminaciones variables 3106 a terminaciones de circuito abierto durante una primera mitad de un ciclo de funcionamiento. Entonces, durante la segunda mitad del ciclo de funcionamiento, el sistema de control 3102 conmuta las terminaciones variables 3106 de tal modo que las que eran terminaciones de circuito abierto se conmutan a terminaciones de circuito cerrado, y viceversa. El ciclo operativo para conmutar las terminaciones variables 3106 puede variar entre 0,01 Hz y 100 Hz.

En algunas implementaciones, las terminaciones variables 3106 de cada par de tiras de acoplamiento 1900 vecinas se controlan para mantener el tipo opuesto de terminación. Es decir, el sistema de control 3102 controla las terminaciones variables 3106 de tal modo que la terminación de una tira de acoplamiento 1900 en cada par vecino se configura como un circuito abierto y la terminación de la otra tira de acoplamiento 1900 en el par se configura como un circuito abierto, con las terminaciones alternándose para cada mitad de un ciclo operativo.

El sistema de control 3102 puede ser un dispositivo informático con uno o más procesadores o microcontroladores configurados para controlar las operaciones de las terminaciones variables 3106. Por ejemplo, el sistema de control 3102 incluye instrucciones de almacenamiento de memoria (por ejemplo, código de software) que, cuando son ejecutadas por el sistema de control, hacen que el sistema de control 3102 proporcione señales de control apropiadas a los conmutadores controlables en las terminaciones variables 3106. En algunas implementaciones, el sistema de control de potencia 3002 y el sistema de control 3102 pueden integrarse en un sistema de control y de potencia común.

En algunas implementaciones, las terminaciones variables 3106 están configuradas para conmutar entre una terminación capacitiva y una terminación inductiva. Por ejemplo, el conmutador controlable puede disponerse para conmutar entre acoplar la capa conductora de una tira de acoplamiento 1900 a un condensador que se conecta a masa o acoplar la capa conductora de una tira de acoplamiento 1900 a una inductancia que se conecta a masa. Como se ha indicado anteriormente, la masa puede estar o bien a través del medio volumétrico 1902 o bien a través de la capa de apantallamiento conductora de la tira de acoplamiento 1900. Además, en tales implementaciones, el sistema de control 3102 puede hacerse funcionar como se ha descrito anteriormente para conmutar de forma alterna las terminaciones variables 3106 entre terminaciones conductoras e inductivas.

En otras implementaciones, las terminaciones variables 3106 pueden modificarse para conmutar entre diferentes tipos de terminación, por ejemplo, entre terminaciones de circuito abierto y terminaciones capacitivas, entre terminaciones de cortocircuito y terminaciones inductivas, entre terminaciones de circuito abierto y terminaciones inductivas, entre terminaciones de cortocircuito y terminaciones capacitivas, entre terminaciones de circuito abierto y terminaciones resistivas, entre terminaciones de cortocircuito y terminaciones resistivas, u otras combinaciones de las mismas.

La figura 32 es un diagrama de bloques de un tercer sistema de calentamiento de medio volumétrico 3200 ilustrativo que utiliza unas tiras de acoplamiento de acuerdo con implementaciones de la presente divulgación. El sistema de calentamiento 3200 está configurado para accionar de forma alterna las tiras de acoplamiento 1900 vecinas. El sistema de calentamiento 3200 es similar al sistema de calentamiento 3000 descrito anteriormente con la adición de un sistema de control 3202 que está configurado para accionar los conectores conmutables 3204 unidos al extremo de entrada de cada tira de acoplamiento 1900. Los conectores conmutables 3204 incluyen un conmutador controlable dispuesto para conectar una tira de acoplamiento 1900 asociada al sistema de control de potencia 3002, y para desconectarla del mismo. El conmutador controlable puede implementarse como un conmutador electrónico (por ejemplo, un transistor, un diodo de potencia, un tiristor, un rectificador controlado de silicio, etc.) o un conmutador mecánico (por ejemplo, un relé). Por ejemplo, el conmutador controlable se conecta entre la capa conductora de la tira de acoplamiento 1900 y un terminal de entrada del conector conmutable 3204. Una salida del sistema de control se acopla al terminal de control del conmutador controlable.

El sistema de control 3202 controla las operaciones del conector conmutable 3204 para conectar y desconectar de forma alterna las tiras de acoplamiento 1900 con el sistema de control de potencia 3002, encendiendo y apagando en la práctica las tiras de acoplamiento 1900. Por ejemplo, el sistema de control 3202 puede controlar los conectores conmutables 3204 para encender y apagar de forma alterna las tiras de acoplamiento 1900. Por ejemplo, el sistema de control 3202 controla las operaciones de los conectores conmutables 3204 para una tira de acoplamiento 1900 accionando el conmutador controlable para apagar y encender la tira de acoplamiento 1900 según sea necesario para calentar el medio volumétrico 1902. En algunas implementaciones, el sistema de control 3102 puede controlar la terminación variable 3106 de cada tira de acoplamiento de forma independiente. En algunas implementaciones, el sistema de control 3102 puede controlar las terminaciones variables 3106 de un grupo (por ejemplo, un par o un grupo más grande) de tiras de acoplamiento en sincronización entre sí. En algunas implementaciones, el sistema de control 3102 puede controlar la conmutación de las terminaciones variables 3106 de una o más tiras de acoplamiento 1900

en intervalos regulares, por ejemplo, de acuerdo con un ciclo operativo regular. El ciclo operativo para conmutar las terminaciones variables 3106 puede variar entre 0,01 Hz y 100 Hz. En algunas implementaciones, el sistema de control 3202 enciende las tiras de acoplamiento 1900 con las terminaciones de circuito abierto 3006 y apaga las tiras de acoplamiento 1900 con las terminaciones de circuito cerrado 3008 durante una primera mitad del ciclo operativo. Entonces, durante la segunda mitad del ciclo operativo, el sistema de control 3202 conmuta los conectores conmutables 3204 para apagar las tiras de acoplamiento 1900 con las terminaciones de circuito abierto 3006 y para encender las tiras de acoplamiento 1900 con las terminaciones de circuito cerrado 3008.

El sistema de control 3202 puede ser un dispositivo informático con uno o más procesadores o microcontroladores configurados para controlar las operaciones de las terminaciones variables 3106. Por ejemplo, el sistema de control 3202 incluye instrucciones de almacenamiento de memoria (por ejemplo, código de software) que, cuando son ejecutadas por el sistema de control, hacen que el sistema de control 3202 proporcione señales de control apropiadas a los conmutadores controlables en las terminaciones variables 3106. En algunas implementaciones, el sistema de control de potencia 3002 y el sistema de control 3202 pueden integrarse en un sistema de control y de potencia común.

Como se usa en el presente documento, las expresiones "perpendicular" o "sustancialmente perpendicular" o "normal" o "sustancialmente normal" se refieren a una relación entre dos elementos (por ejemplo, líneas, direcciones, ejes, planos, superficies o componentes) que forman un ángulo de noventa grados dentro de unas tolerancias ingenieriles o de medición aceptables. Por ejemplo, las direcciones pueden considerarse perpendiculares entre sí si el ángulo entre las direcciones está dentro de una tolerancia aceptable de noventa grados (por ejemplo, $\pm 1-2$ grados).

Aunque esta memoria descriptiva contiene muchos detalles de implementación específicos, estos no deberían interpretarse como limitaciones al alcance de ninguna invención o al alcance de lo que puede reivindicarse, sino más bien como descripciones de características que pueden ser específicas de implementaciones particulares de invenciones particulares. Ciertas características que se describen en esta memoria descriptiva en el contexto de implementaciones separadas también pueden implementarse en combinación en una única realización. A la inversa, diversas características descritas en el contexto de una única realización también pueden implementarse en múltiples implementaciones por separado o en cualquier subcombinación adecuada. Además, aunque anteriormente pueda haberse descrito que algunas características actúen en ciertas combinaciones e incluso se haya reivindicado inicialmente en este sentido, en algunos casos pueden eliminarse de la combinación una o más características de una combinación reivindicada, y la combinación reivindicada puede dirigirse a una subcombinación o a una variación de una subcombinación.

De forma similar, aunque se representan operaciones en los dibujos en un orden particular, esto no debería entenderse como que se requiera que tales operaciones se realicen en el orden particular mostrado o en un orden secuencial, o que se realicen todas las operaciones ilustradas, para lograr resultados deseables. En ciertas circunstancias, la multitarea y el procesamiento en paralelo pueden ser ventajosos. Además, no debería entenderse que la separación de diversos módulos y componentes de sistema en las implementaciones descritas anteriormente requiera tal separación en todas las implementaciones, y debería entenderse que los componentes de programa y sistemas descritos pueden integrarse generalmente en conjunto en un único producto de software y/o de hardware o encapsularse en múltiples productos de software y/o de hardware.

Se han descrito implementaciones particulares de la materia objeto. Otras implementaciones están dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones. Por ejemplo, las acciones enumeradas en las reivindicaciones pueden realizarse en un orden diferente y seguir logrando resultados deseables. Como un ejemplo, los procesos representados en las figuras adjuntas no requieren necesariamente el orden particular mostrado, o un orden secuencial, para lograr resultados deseables. En algunos casos, la multitarea y el procesamiento en paralelo pueden ser ventajosos.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para calentar una parte exterior de una aeronave (100), comprendiendo el sistema:
un recubrimiento de aeronave (1902) que tiene un medio conductor volumétrico, y dos o más tiras de acoplamiento (1900) separadas entre sí y unidas al recubrimiento de aeronave (1902), comprendiendo cada una de las tiras de acoplamiento una estructura de múltiples capas que se extiende a lo largo de una superficie del recubrimiento de aeronave que forma, en combinación con el recubrimiento de aeronave, una línea de transmisión eléctrica, comprendiendo la estructura de múltiples capas:
una primera capa dieléctrica (1908) sobre el recubrimiento de aeronave,
una capa conductora (1904) sobre la primera capa dieléctrica,
una segunda capa dieléctrica (1908) sobre la capa conductora, y
una capa de apantallamiento conductora (1906) sobre la segunda capa dieléctrica; y un sistema de control de potencia (104) acoplado a la capa conductora de cada una de las tiras de acoplamiento y al recubrimiento de aeronave, configurado el sistema de control de potencia para calentar la superficie del recubrimiento de aeronave proporcionando corriente eléctrica de frecuencia alta a las tiras de acoplamiento, generando de ese modo corrientes eléctricas de efecto pelicular dentro del medio volumétrico del recubrimiento de aeronave.
2. El sistema de la reivindicación 1, en donde el sistema de control de potencia está configurado para proporcionar corriente eléctrica a las tiras de acoplamiento a una frecuencia de CA entre 1 kHz y 450 MHz.
3. El sistema de la reivindicación 1, en donde la capa conductora se sitúa a 0,025 m (1 pulgada) del recubrimiento de aeronave.
4. El sistema de la reivindicación 1, en donde la capa conductora de al menos una de las tiras de acoplamiento se dispone en un patrón serpenteante en donde segmentos de la capa conductora se encuentran uno al lado de otro.
5. El sistema de la reivindicación 1, en donde la capa conductora está separada una primera distancia del recubrimiento de aeronave,
en donde la capa de apantallamiento conductora está separada una segunda distancia de la capa conductora, y
en donde una relación entre la primera distancia y la segunda distancia varía entre 5:1 y 1:5.
6. El sistema de la reivindicación 1, en donde la capa conductora de al menos una de las tiras de acoplamiento comprende una anchura transversalmente a la capa conductora que varía a lo largo de una longitud de la capa conductora,
en donde la anchura transversalmente a la capa conductora varía entre una anchura máxima y una anchura mínima, y
en donde la anchura máxima es entre 1,5 veces y 100 veces más grande que la anchura mínima.
7. El sistema de la reivindicación 1, en donde la capa conductora de al menos una de las tiras de acoplamiento comprende una pluralidad de segmentos con uno o más elementos de circuito acoplados entre cada par de segmentos.
8. El sistema de la reivindicación 1, en donde el recubrimiento de aeronave forma una segunda capa de apantallamiento para la línea de transmisión eléctrica formada en combinación con cada una de las tiras de acoplamiento.
9. El sistema de la reivindicación 1, en donde la primera capa dieléctrica comprende un material adhesivo.
10. El sistema de la reivindicación 1, en donde la estructura de múltiples capas comprende además:
una primera capa adhesiva (2504) entre la capa conductora y la segunda capa dieléctrica; y
una segunda capa adhesiva entre la segunda capa dieléctrica y la capa de apantallamiento conductora.
11. El sistema de la reivindicación 1, en donde cada tira de acoplamiento comprende un primer extremo (2302) y un extremo de terminación (2304),
en donde la capa conductora de cada tira de acoplamiento se acopla al sistema de control de potencia en el primer extremo, y
en donde al menos una de las tiras de acoplamiento comprende una trayectoria eléctricamente conductora a una masa eléctrica en el extremo de terminación, y opcionalmente en donde o bien
la masa eléctrica comprende el recubrimiento de aeronave, o bien
la masa eléctrica comprende la capa de apantallamiento conductora de la al menos una tira de acoplamiento.
12. El sistema de la reivindicación 1, en donde cada tira de acoplamiento comprende un primer extremo y un extremo de terminación,
en donde la capa conductora de cada tira de acoplamiento se acopla al sistema de control de potencia en el primer extremo, y
en donde al menos una de las tiras de acoplamiento comprende un circuito abierto entre la capa conductora y una masa eléctrica en el extremo de terminación, y opcionalmente en donde o bien

la masa eléctrica comprende el recubrimiento de aeronave, o bien
la masa eléctrica comprende la capa de apantallamiento conductora de la al menos una tira de acoplamiento.

- 5 13. El sistema de la reivindicación 1, en donde cada tira de acoplamiento comprende un primer extremo y un extremo de terminación,
en donde la capa conductora de cada tira de acoplamiento se acopla al sistema de control de potencia en el primer extremo, y
en donde al menos una de las tiras de acoplamiento comprende un elemento de circuito acoplado entre la capa conductora y una masa eléctrica en el extremo de terminación, comprendiendo el elemento de circuito al menos uno
10 de un condensador, una inductancia o una resistencia.
14. El sistema de la reivindicación 1, en donde cada tira de acoplamiento comprende un primer extremo y un extremo de terminación,
en donde la capa conductora de cada tira de acoplamiento se acopla al sistema de control de potencia en el primer extremo,
15 en donde una primera tira de acoplamiento en cada par vecino de tiras de acoplamiento comprende, como alternativa, un circuito abierto entre la capa conductora y una masa eléctrica en el extremo de terminación, y
en donde una segunda tira de acoplamiento en cada par vecino de tiras de acoplamiento comprende, como alternativa, una trayectoria eléctricamente conductora a la masa eléctrica en el extremo de terminación.
20
15. El sistema de la reivindicación 1, en donde las dos o más tiras de acoplamiento se acoplan eléctricamente entre sí en paralelo una con otra,
o se acoplan eléctricamente entre sí en serie una con otra.
- 25 16. Un método para instalar un sistema (100) de acuerdo con la reivindicación 1, comprendiendo el método:
obtener tiras de acoplamiento, en donde cada tira de acoplamiento comprende una estructura de múltiples capas que comprende:
una primera capa dieléctrica sobre el recubrimiento de aeronave,
una capa conductora sobre la primera capa dieléctrica,
30 una segunda capa dieléctrica sobre la capa conductora, y;
una capa de apantallamiento conductora sobre la segunda capa dieléctrica;
unir cada una de las tiras de acoplamiento a una superficie de un recubrimiento de aeronave y separadas entre sí con la primera capa dieléctrica de cada tira de acoplamiento situada entre el recubrimiento de aeronave y la capa conductora; y
35 acoplar la capa conductora de cada una de las tiras de acoplamiento a un sistema de control de potencia que está configurado para proporcionar corriente eléctrica a las tiras de acoplamiento.
17. El método de la reivindicación 16, en donde la primera capa dieléctrica comprende un adhesivo de doble cara, y
en donde unir cada una de las tiras de acoplamiento a la superficie del recubrimiento de aeronave comprende, para cada tira de acoplamiento:
40 retirar un forro del adhesivo de doble cara para exponer una superficie adhesiva del mismo, y
unir la superficie adhesiva a la superficie del recubrimiento de aeronave.

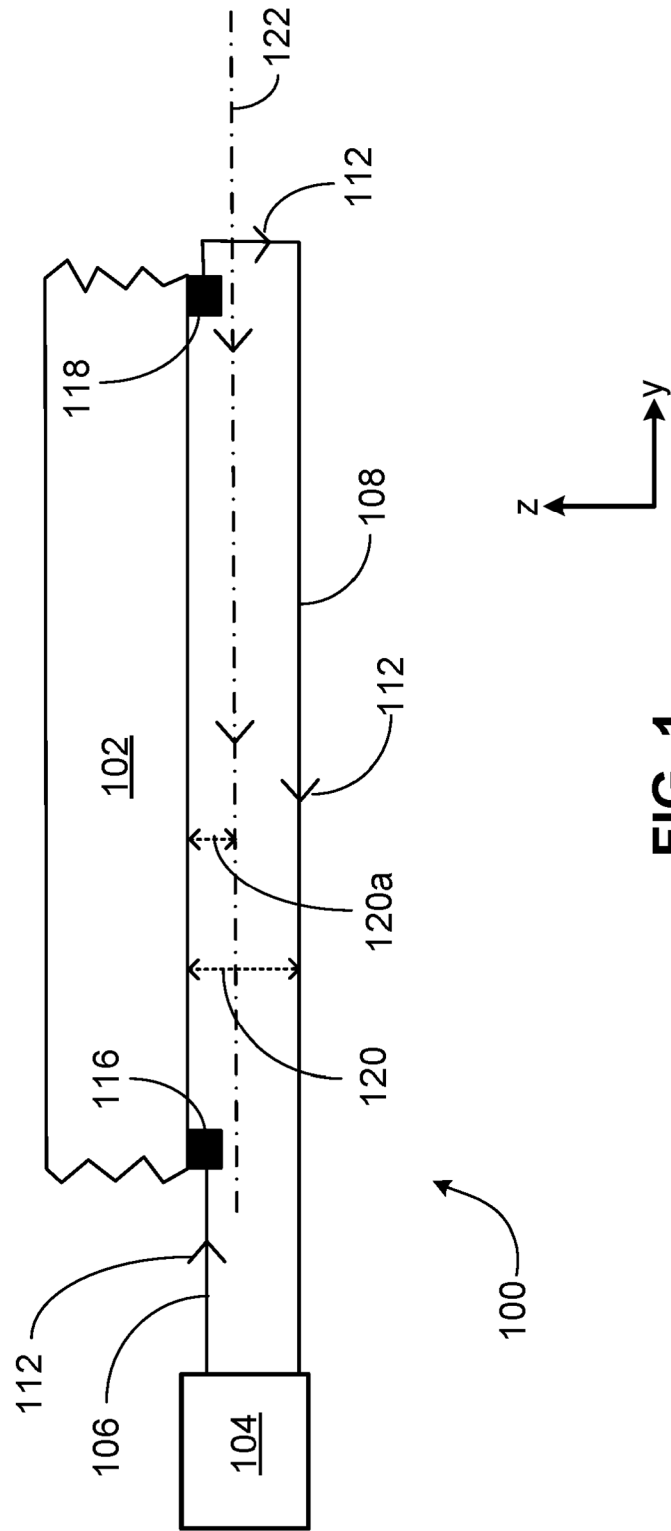
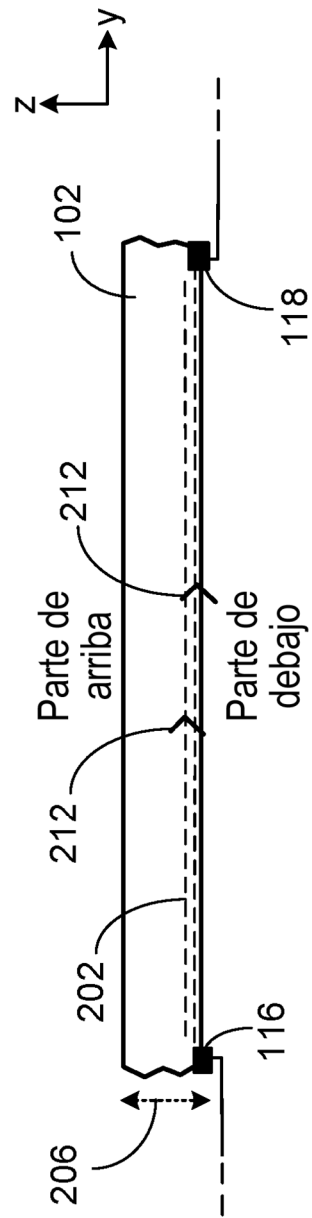
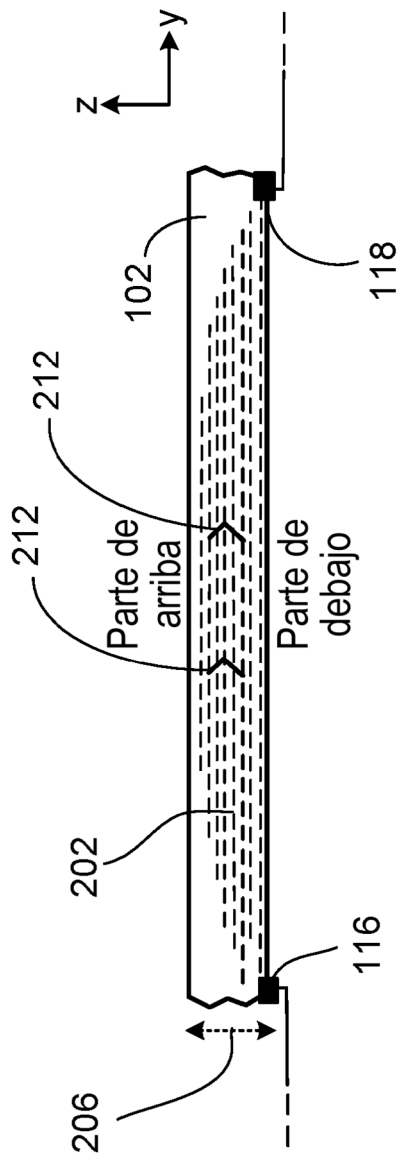


FIG. 1



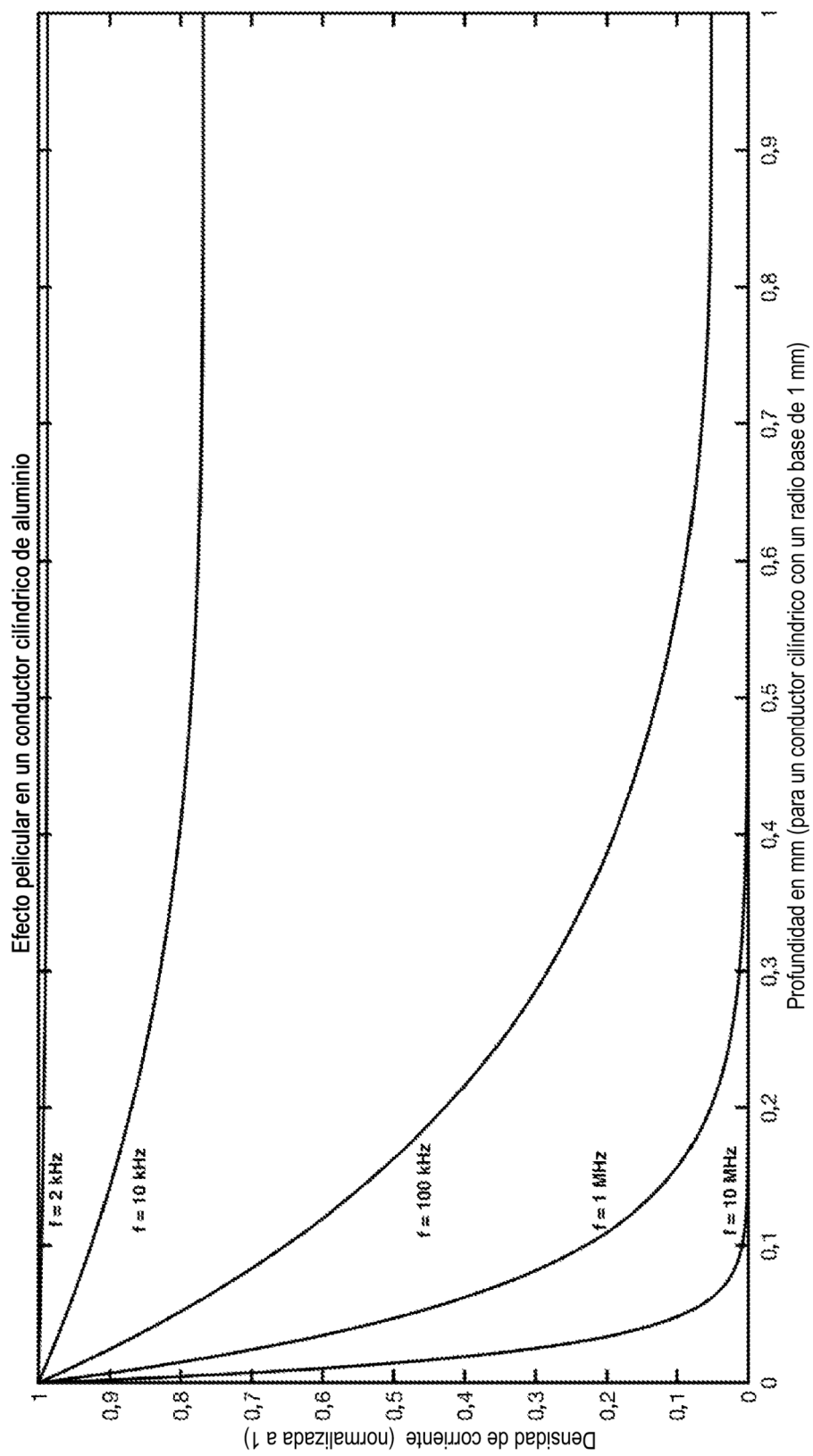
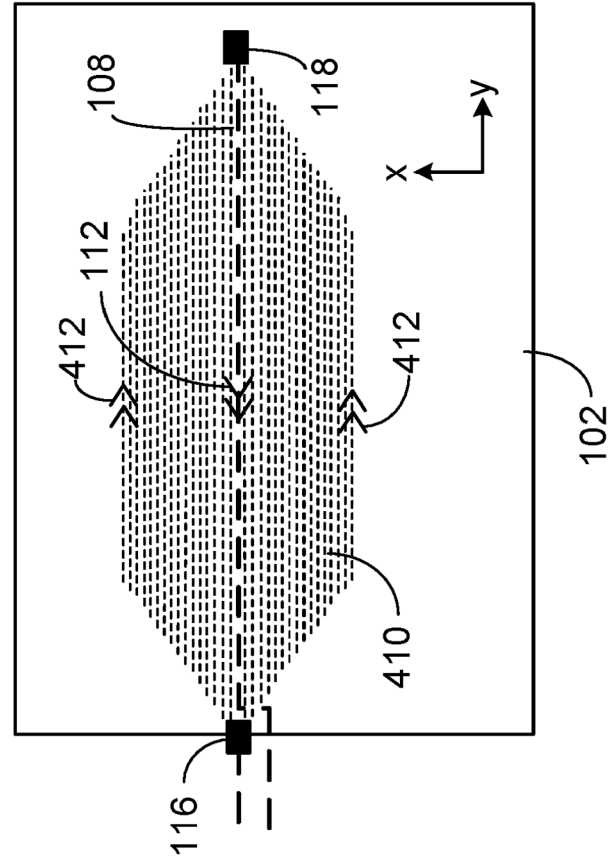
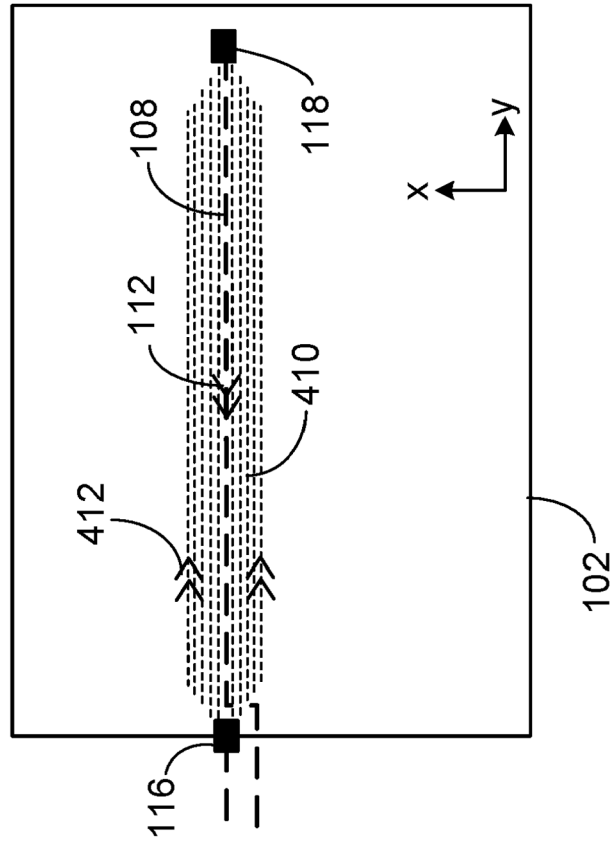
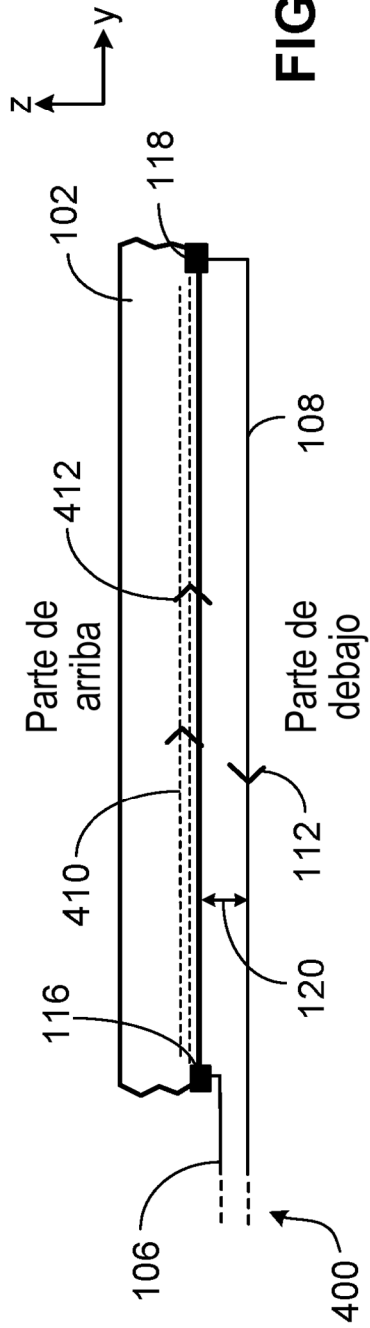


FIG. 3



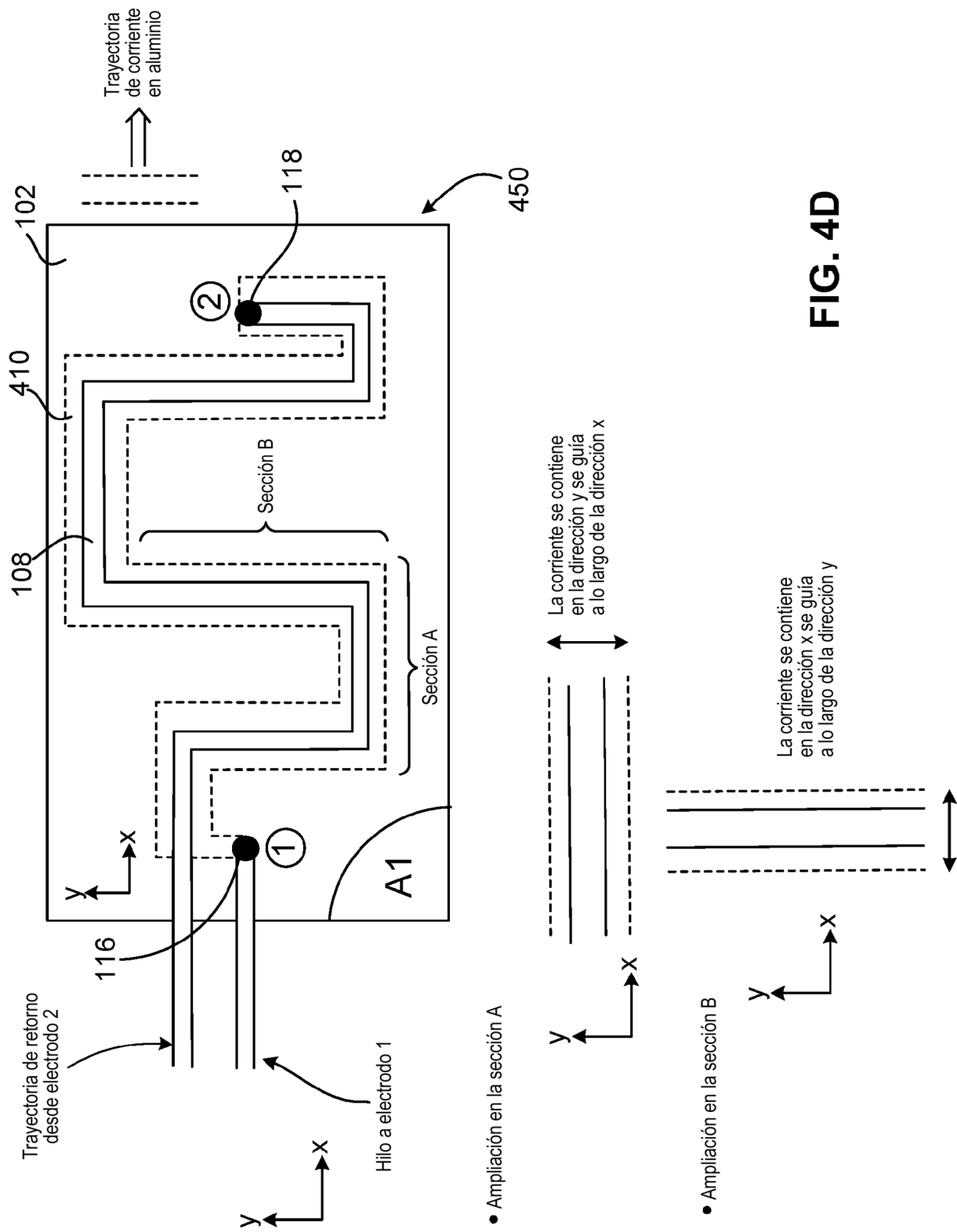
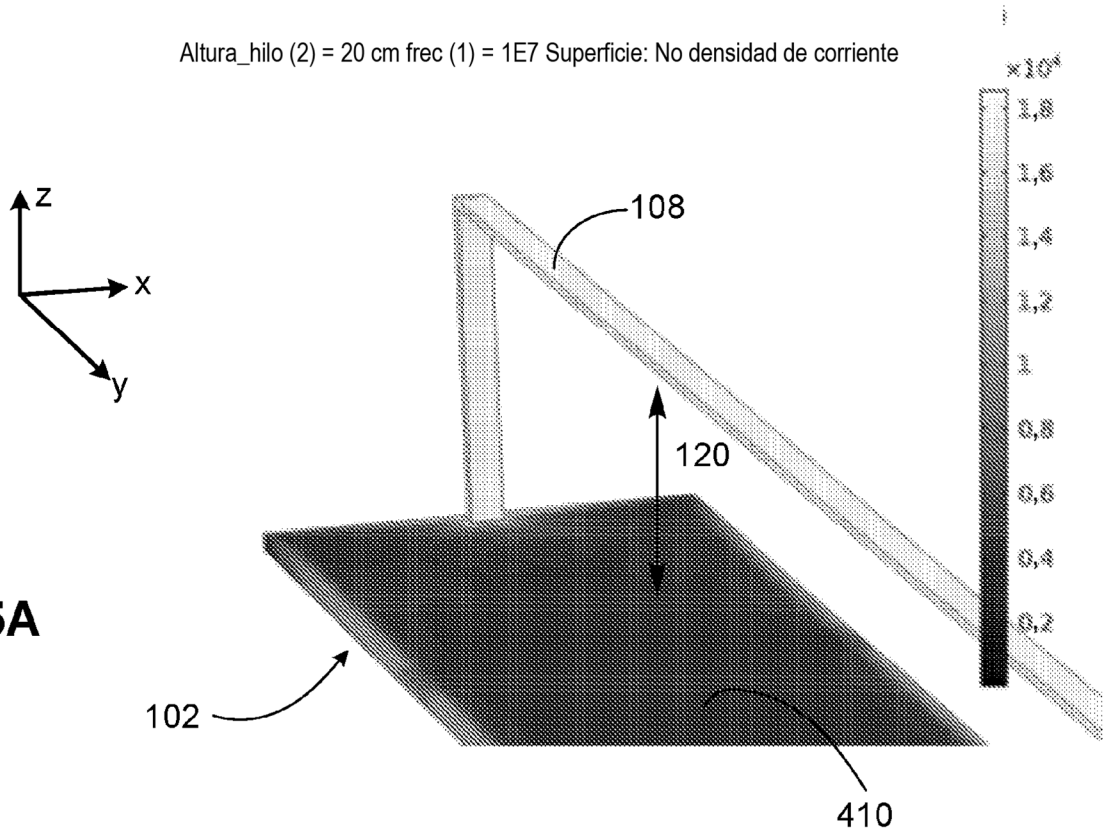


FIG. 4D

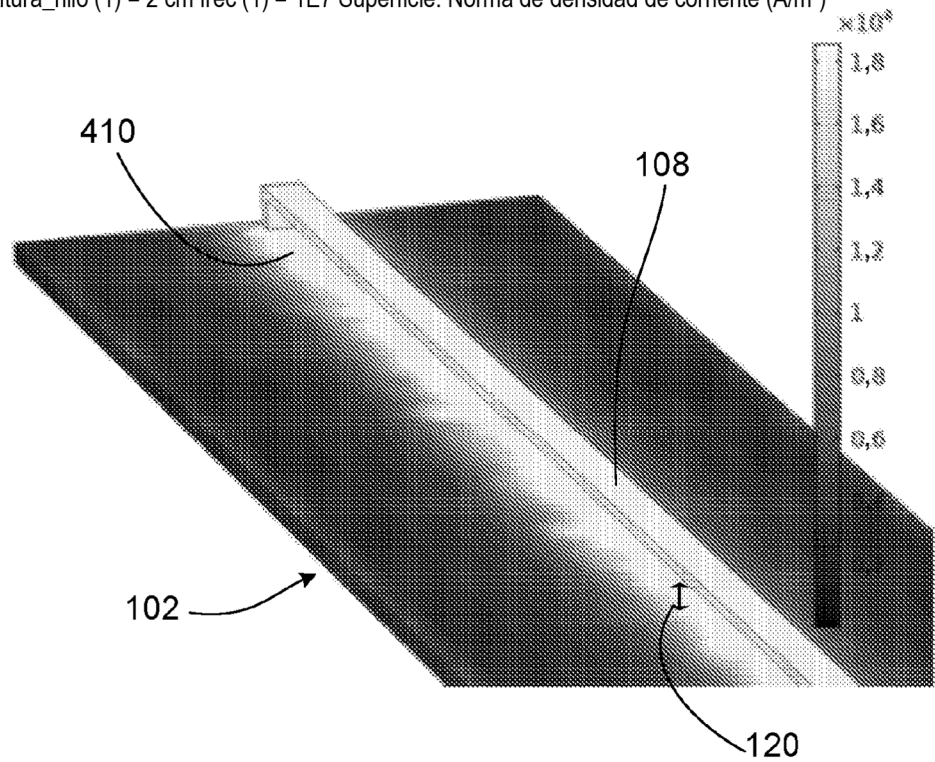
Altura_hilo (2) = 20 cm frec (1) = 1E7 Superficie: No densidad de corriente

FIG. 5A



Altura_hilo (1) = 2 cm frec (1) = 1E7 Superficie: Norma de densidad de corriente (A/m²)

FIG. 5B



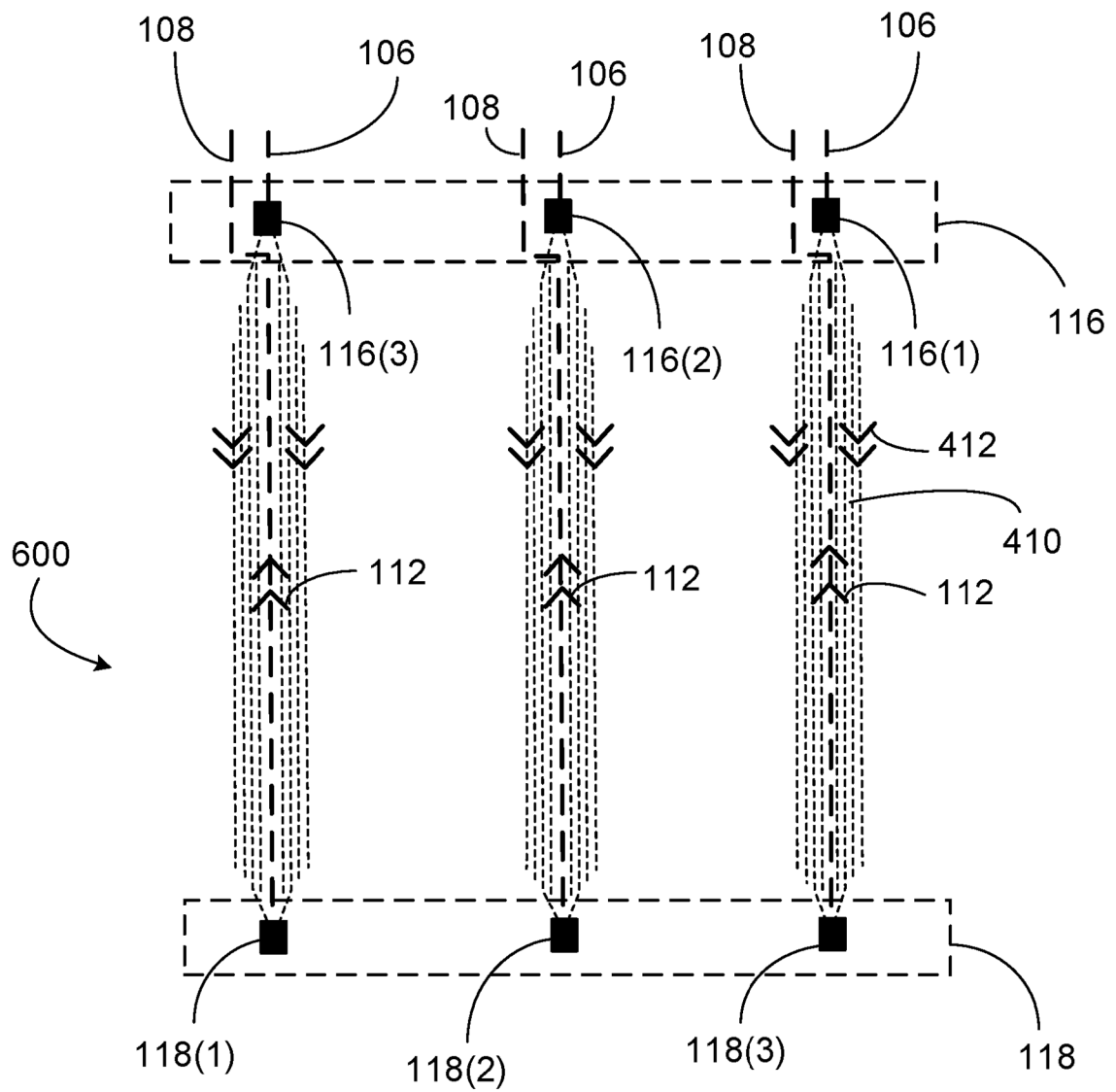
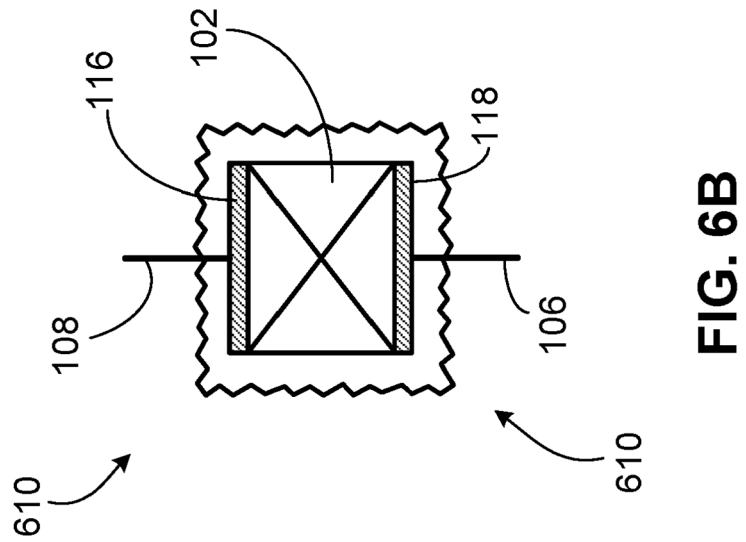
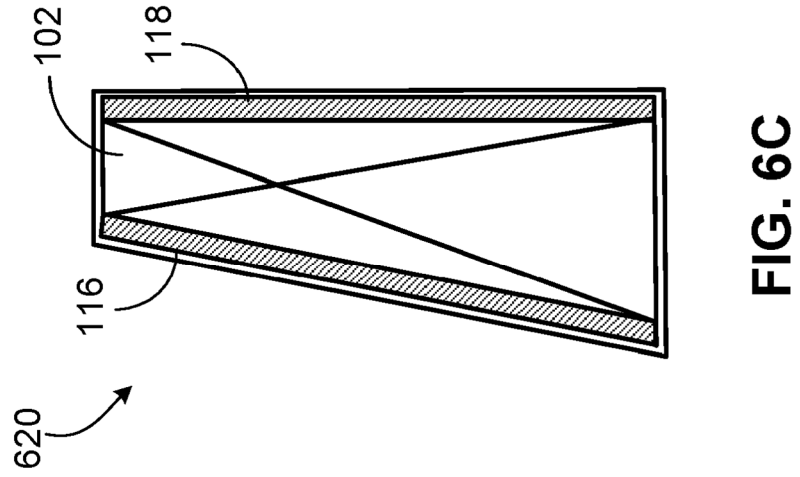
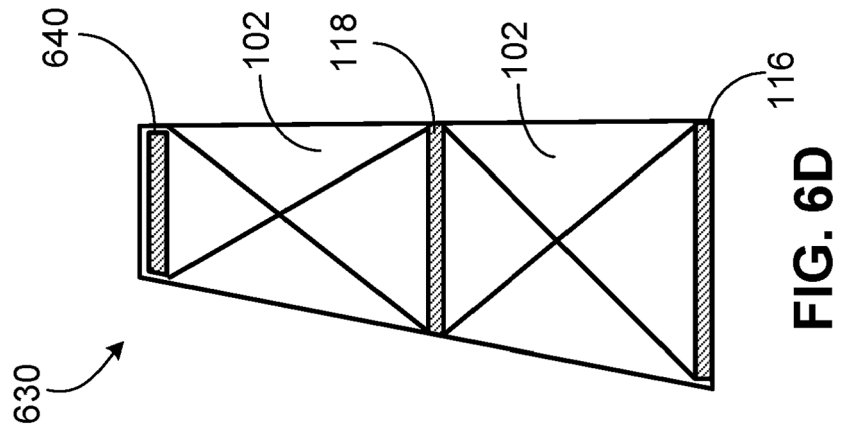


FIG. 6A



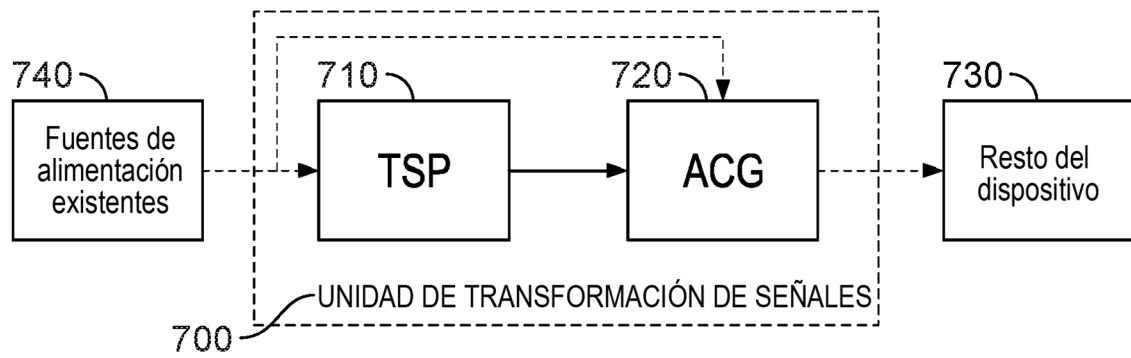


FIG. 7

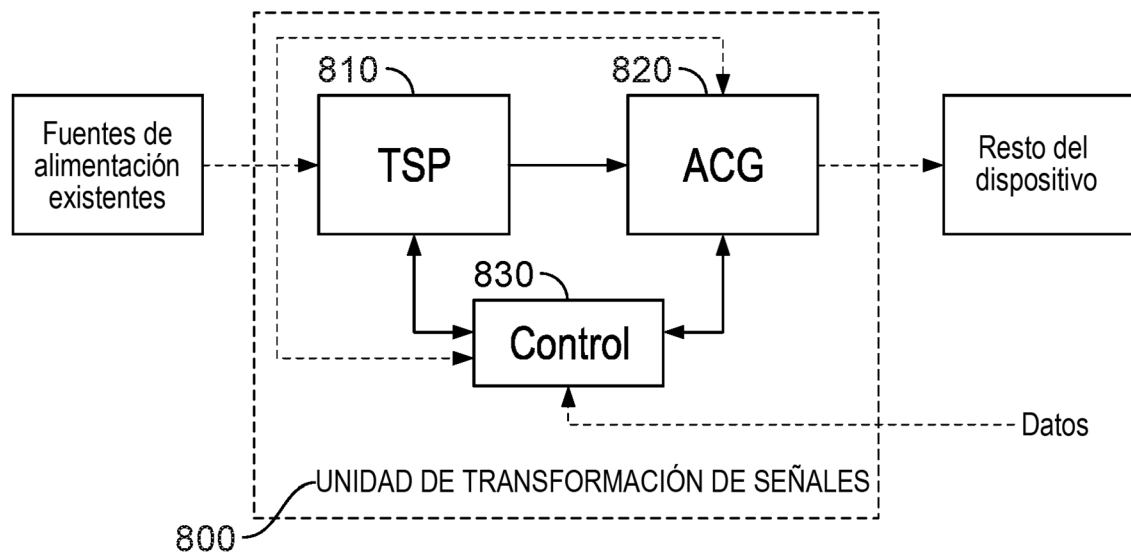


FIG. 8

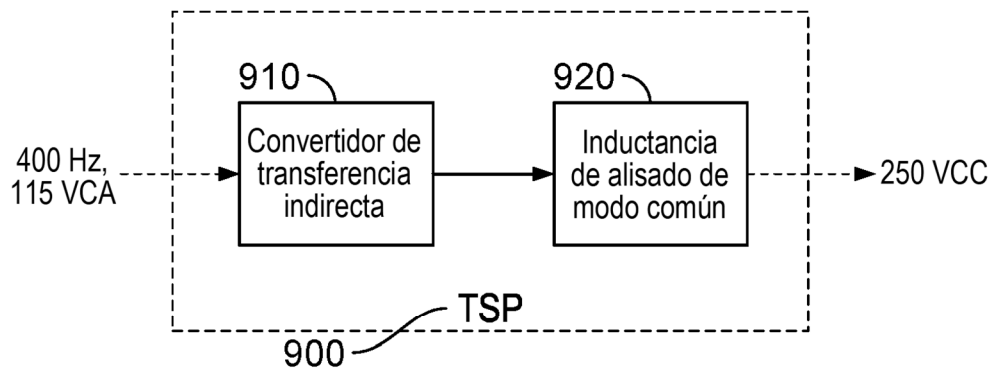


FIG. 9A

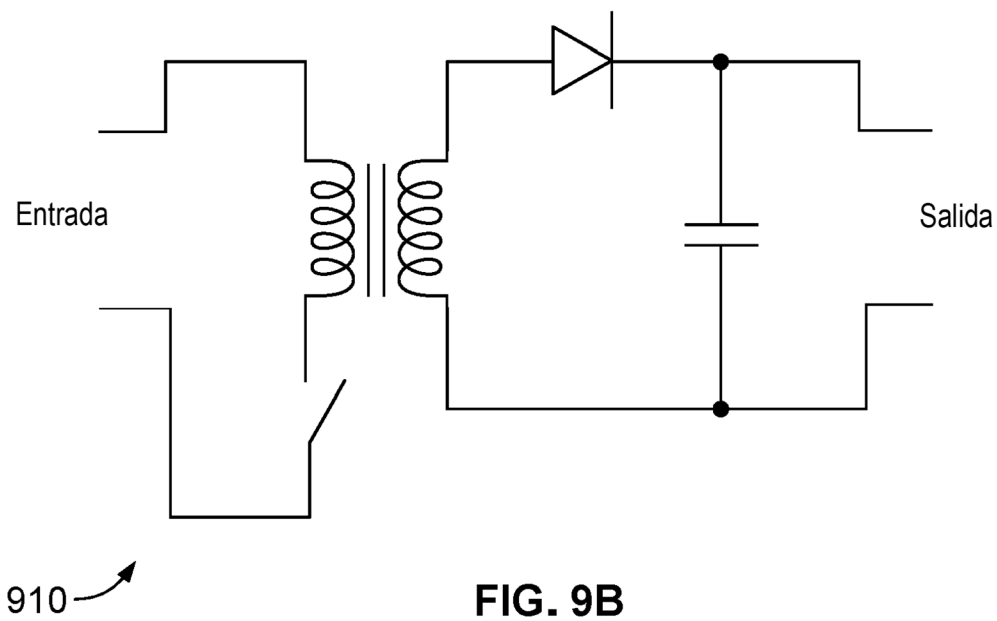


FIG. 9B

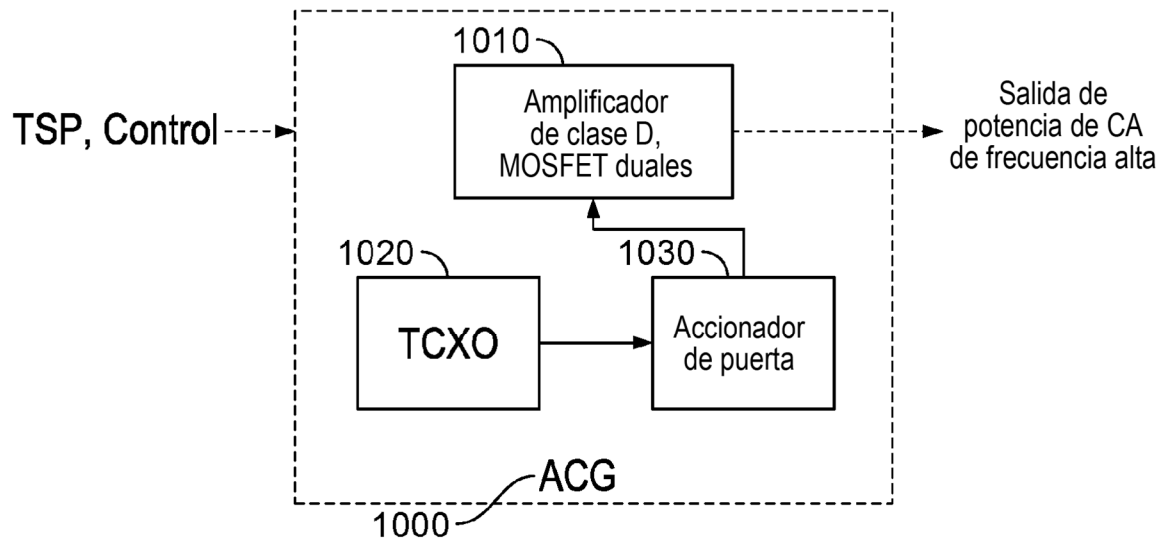


FIG. 10A

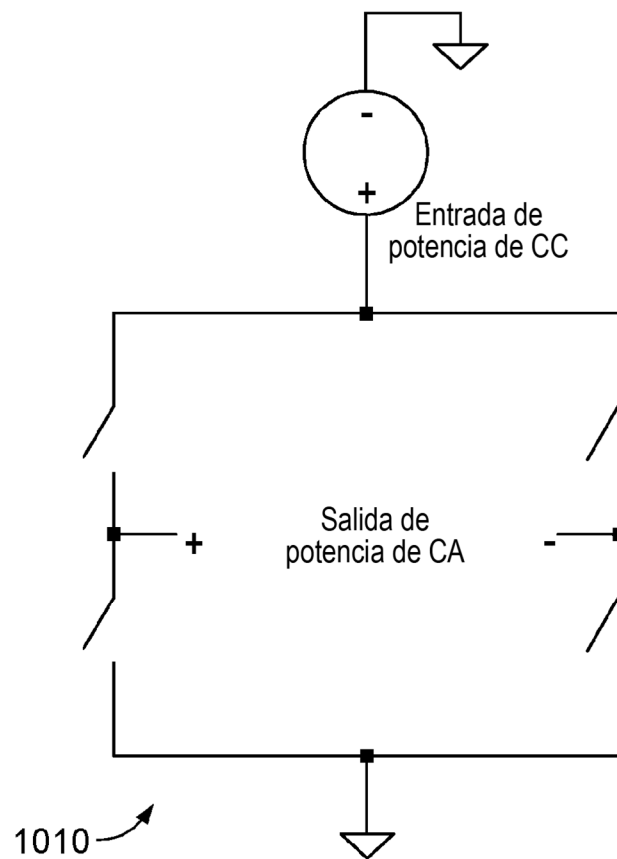


FIG. 10B

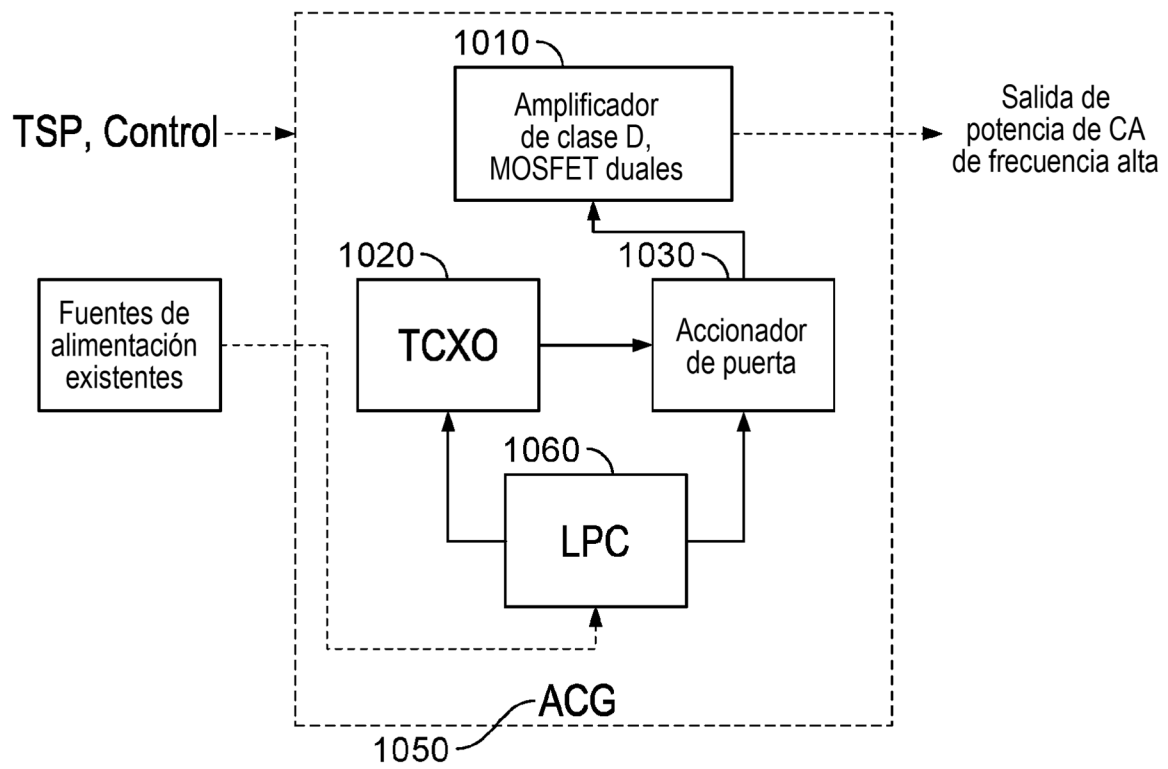


FIG. 10C

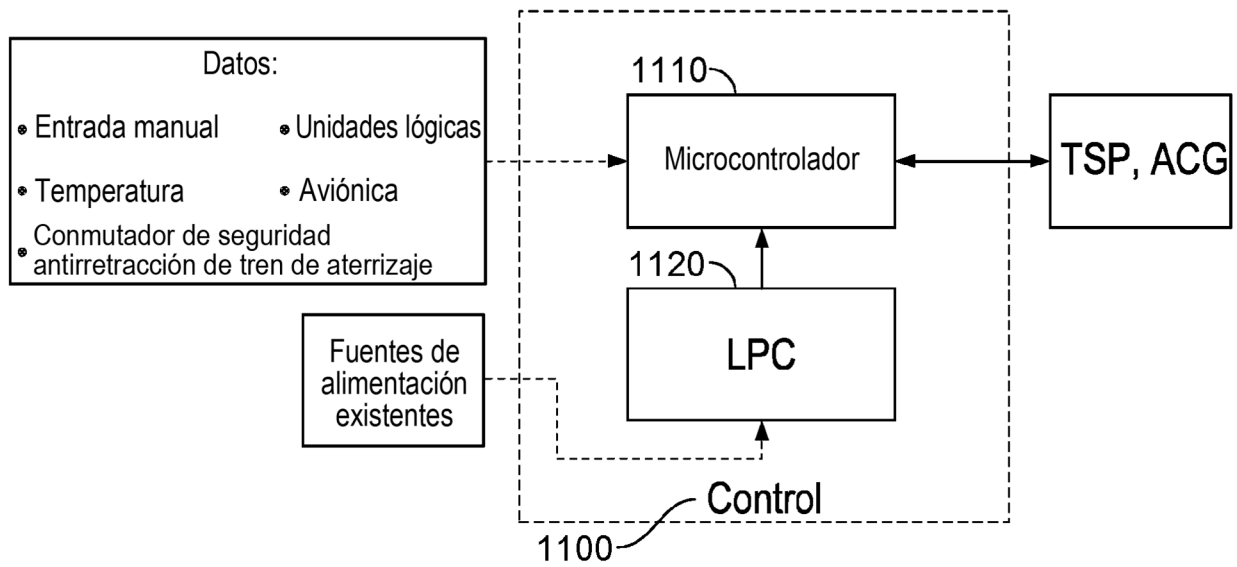


FIG. 11

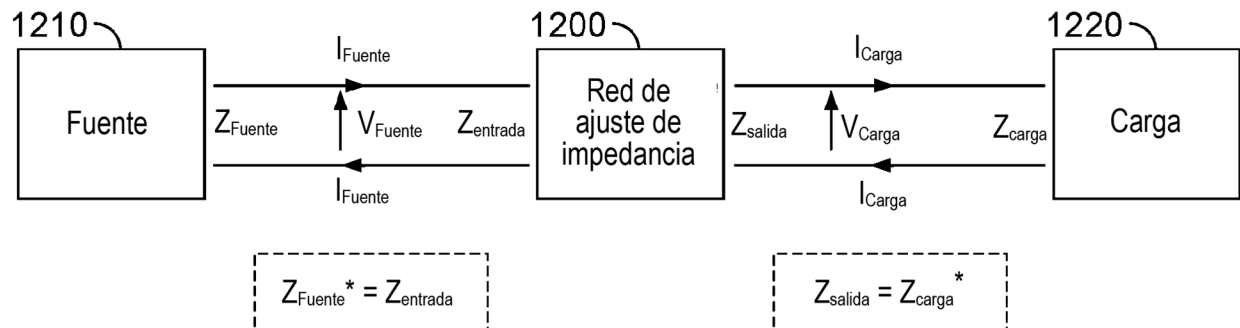


FIG. 12

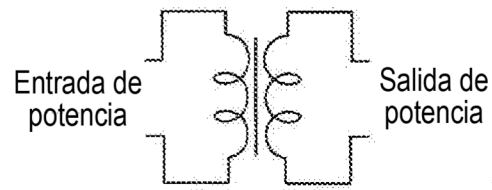


FIG. 13A

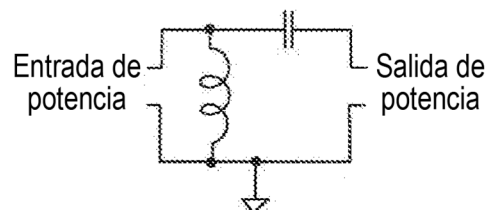
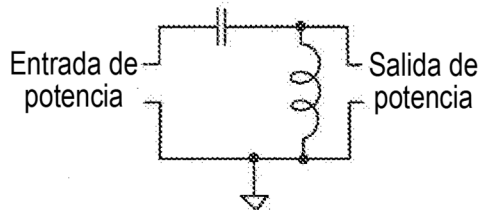
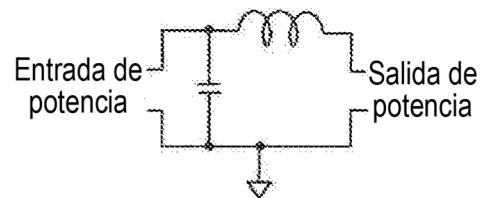
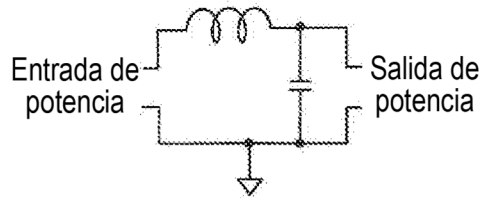


FIG. 13B

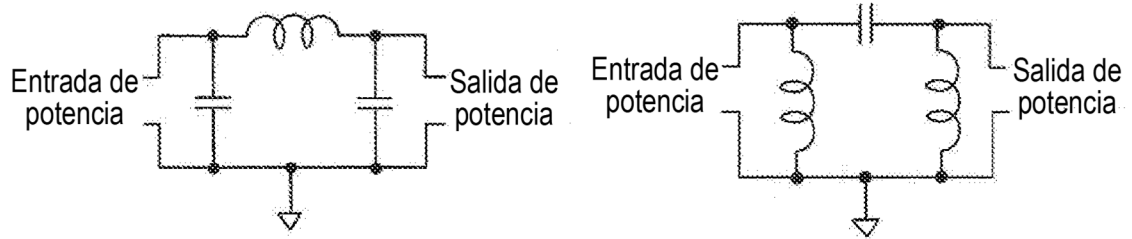


FIG. 13C

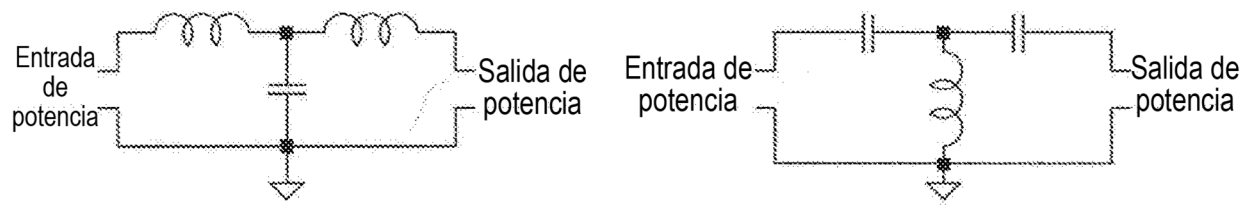


FIG. 13D

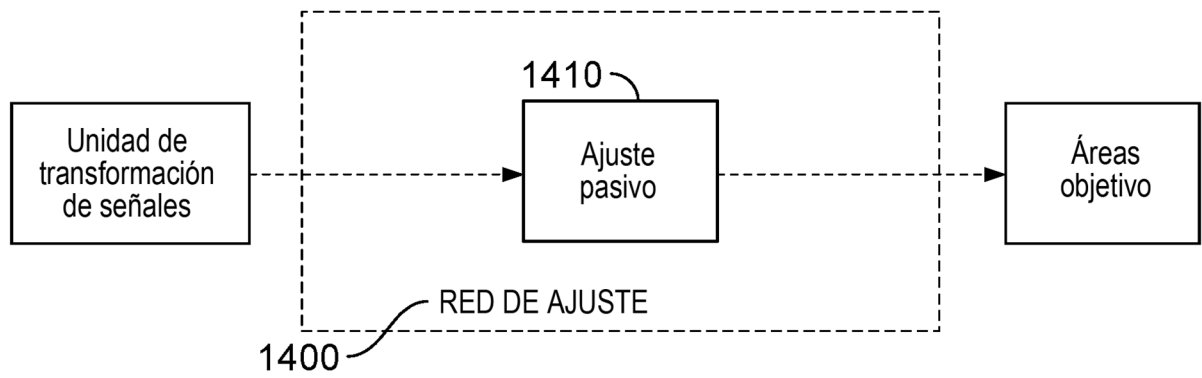


FIG. 14

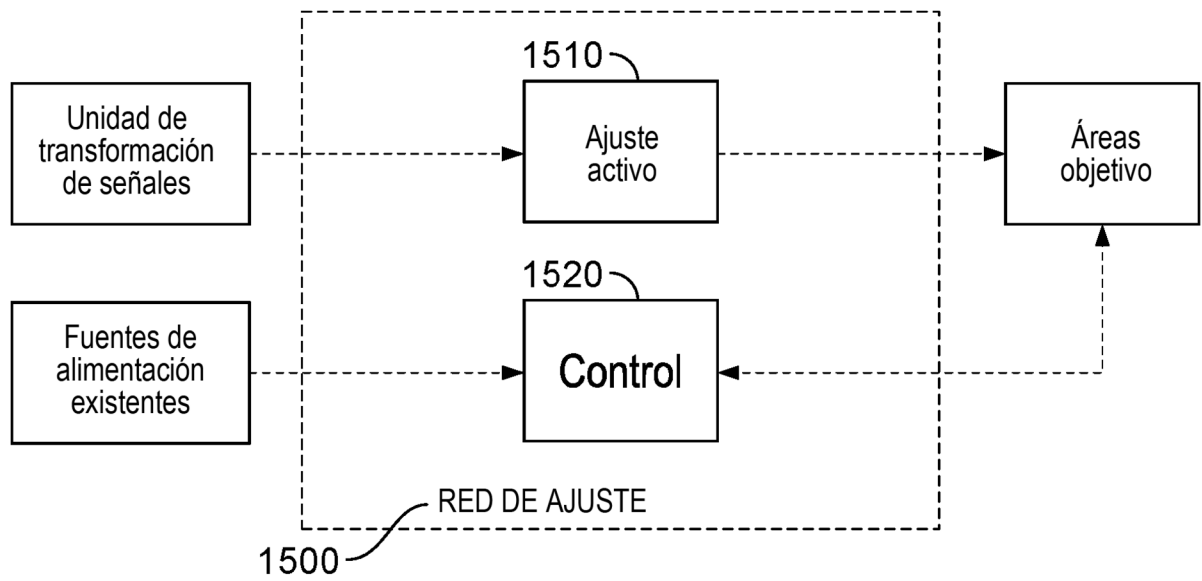


FIG. 15A

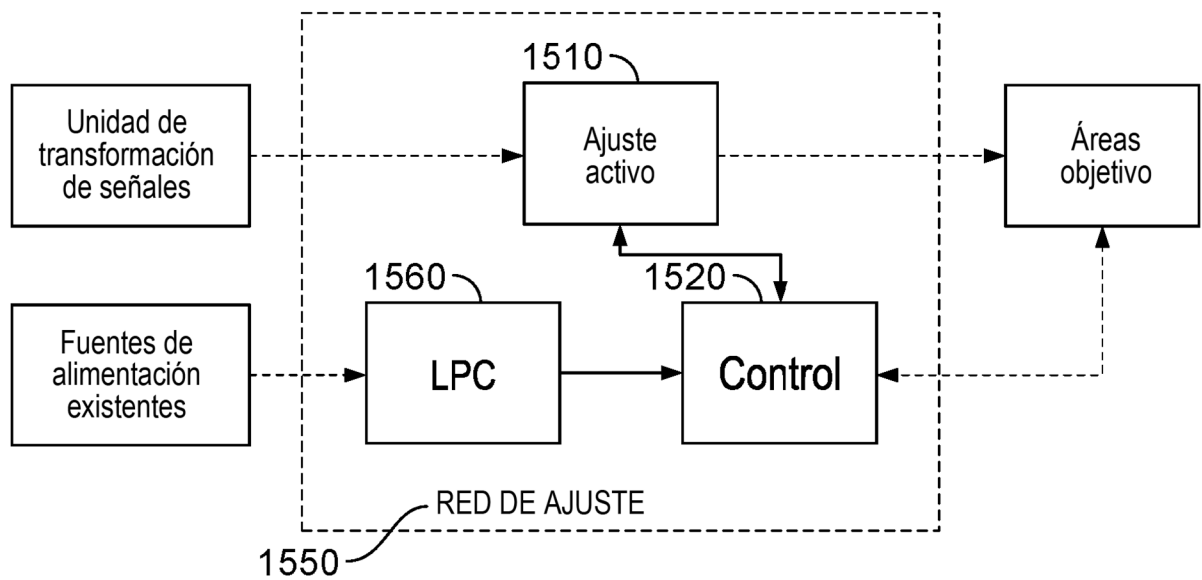


FIG. 15B

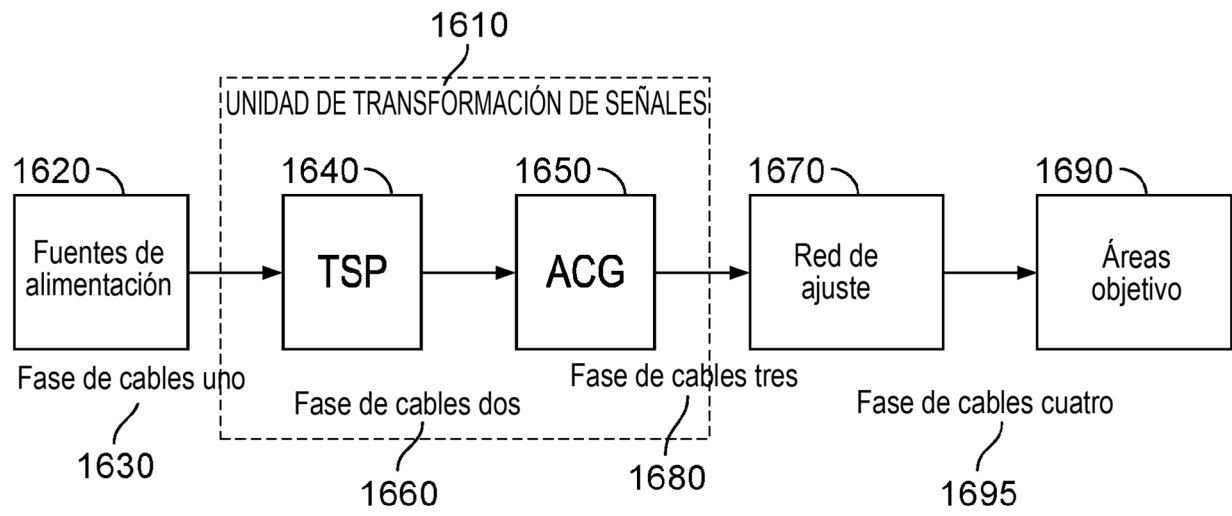


FIG. 16

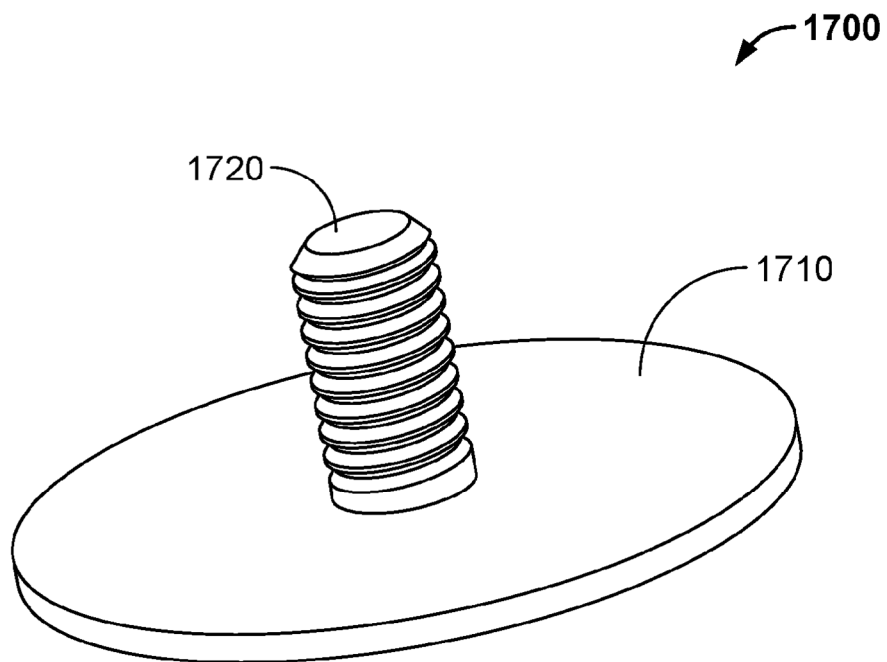


FIG. 17

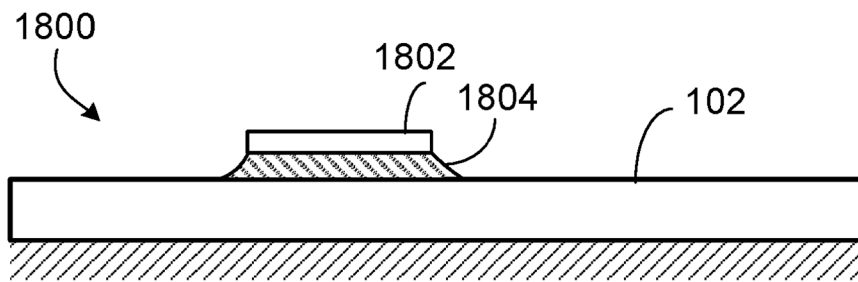


FIG. 18A

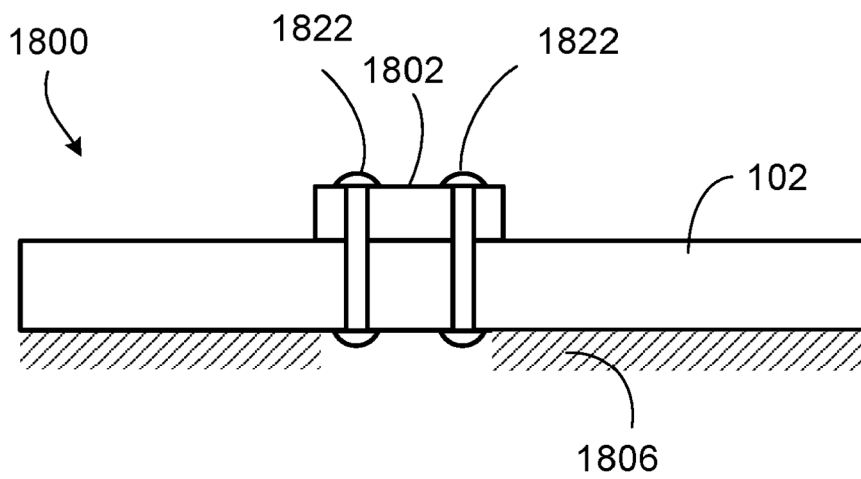


FIG. 18B

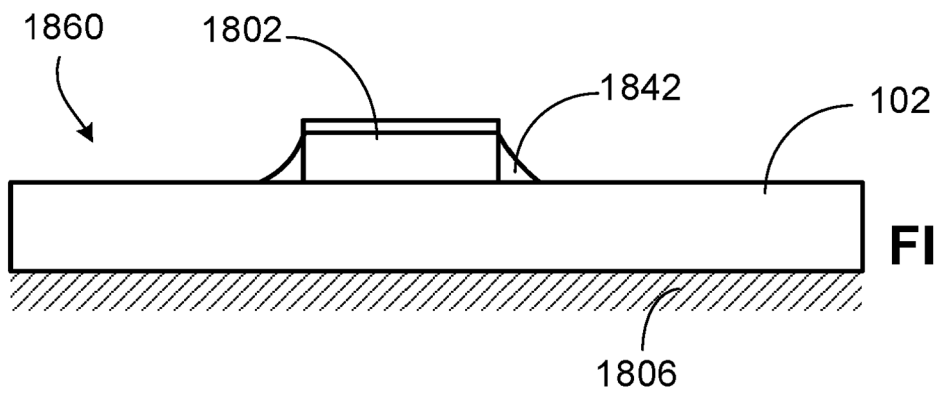


FIG. 18C

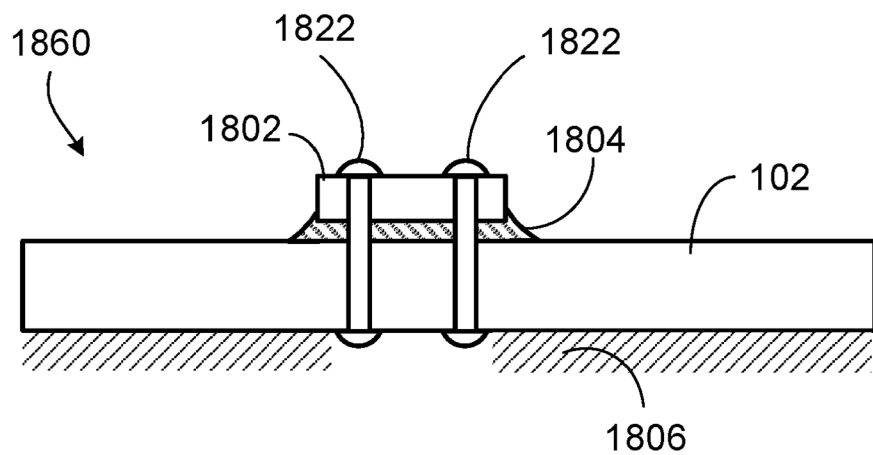
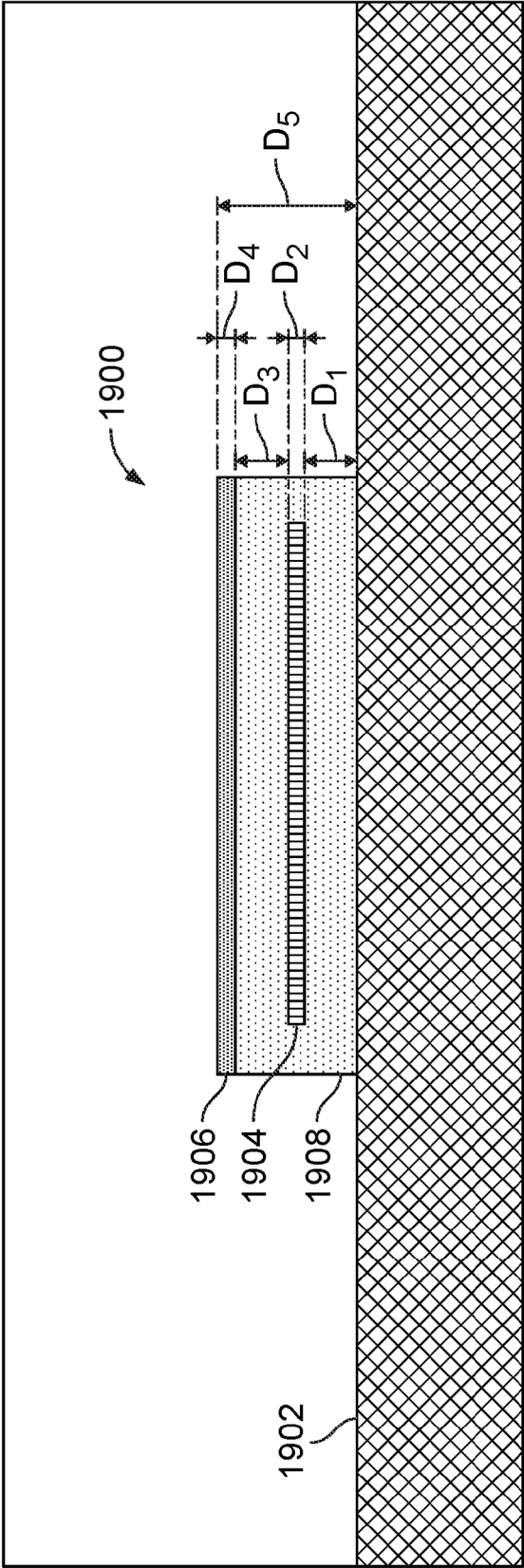


FIG. 18D



Leyenda





-  Materiales de pantalla - conductor (por ejemplo, películas de cobre/aluminio, pantallas tejidas, plata, aluminio estañado, aluminio plateado, etc.)
-  Materiales dieléctricos (por ejemplo, teflón, otros materiales de PTFE, Kapton, Mylar, adhesivo de una única cara, adhesivo de doble cara, etc.)
-  Materiales de capa conductora (por ejemplo, cobre, película de cobre, cinta de cobre, aluminio, plata, aluminio estañado, aluminio plateado, etc.)
-  Materiales de recubrimiento de aeronave (por ejemplo, Al 2024-T3, pintura de aeronave, material compuesto de fibra de carbono, material compuesto de fibra de vidrio, material compuesto de Kevlar, etc.)

FIG. 19

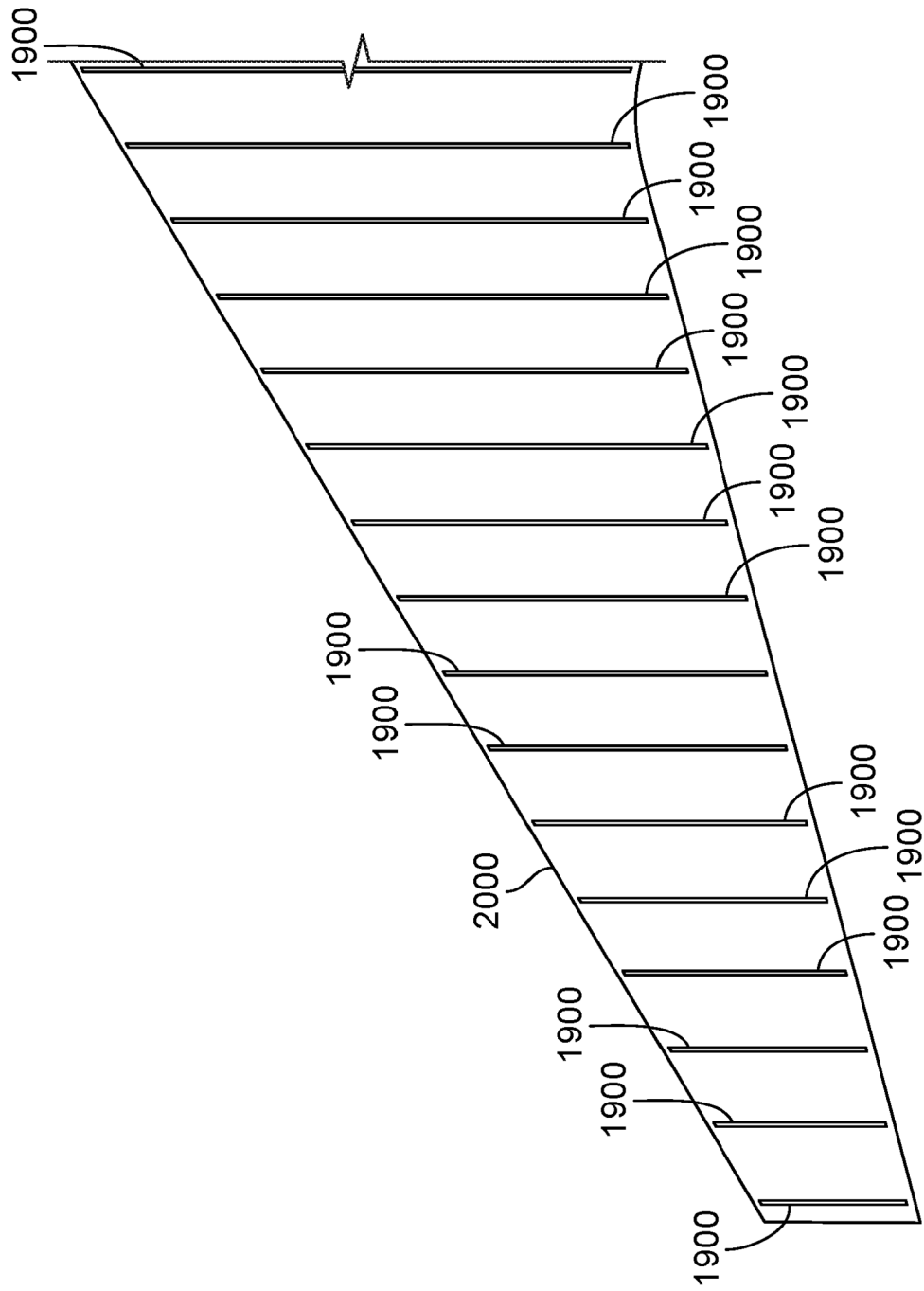


FIG. 20

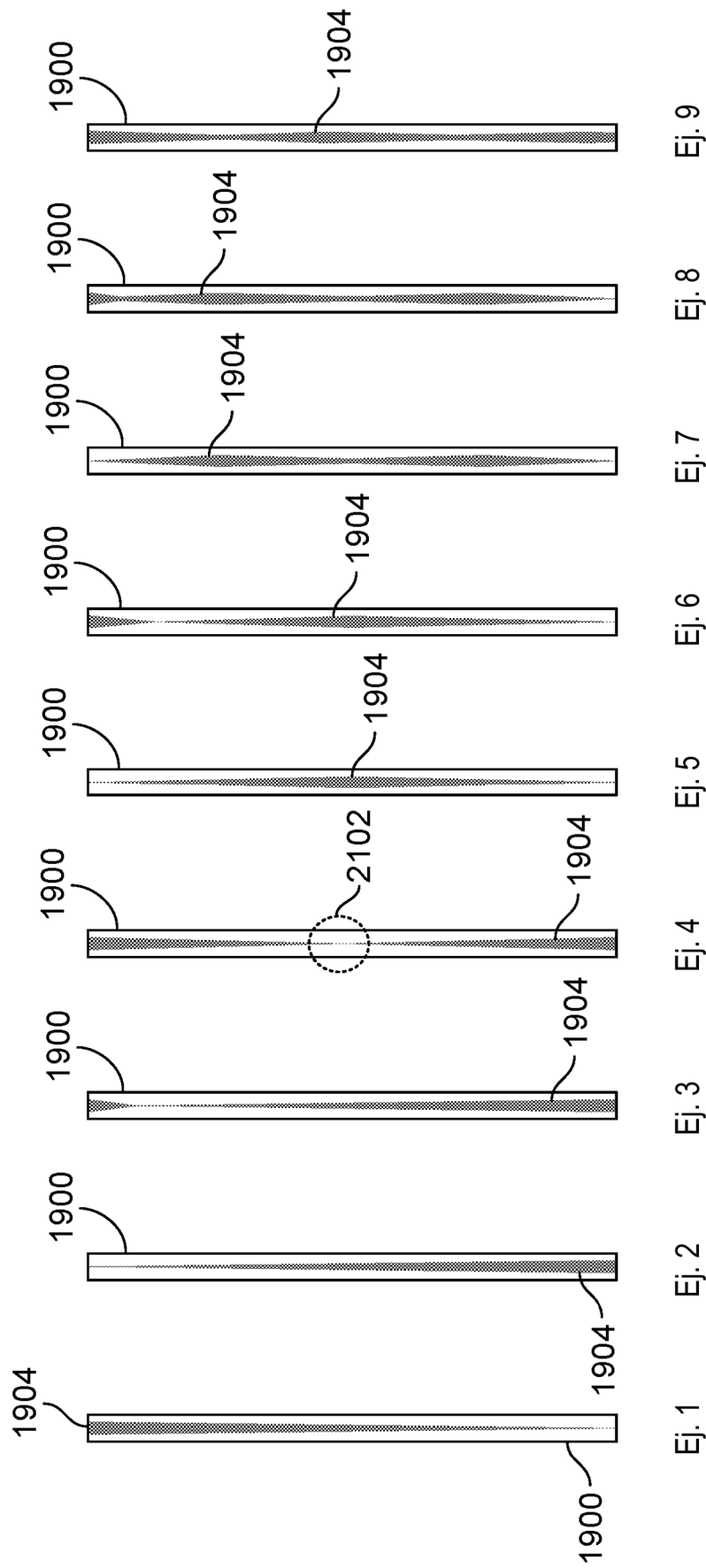


FIG. 21

Norma de campo eléctrico (dBuV/m en una escala normalizada) y
Norma de densidad de corriente (A/m^2 en una escala normalizada)

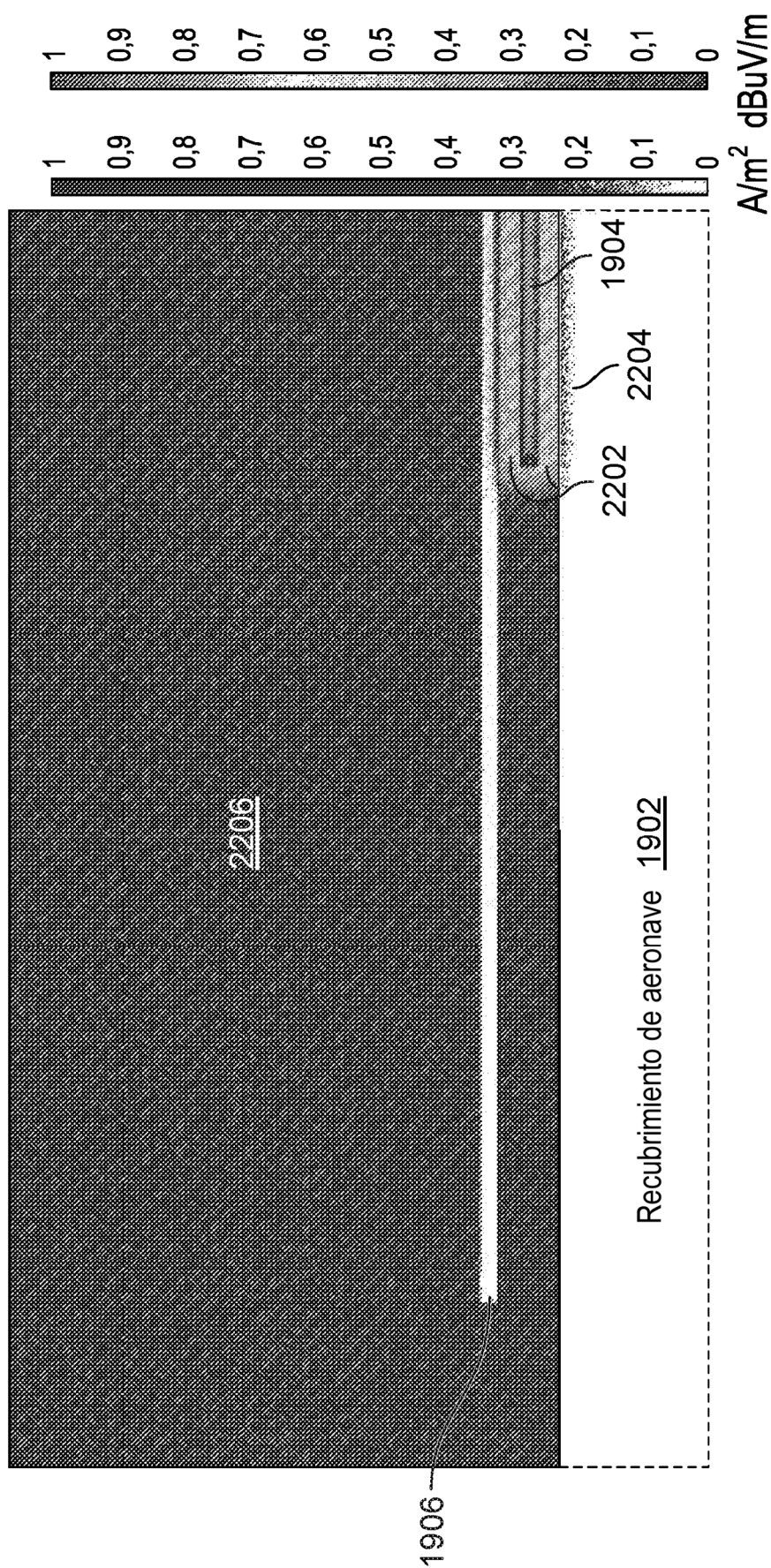


FIG. 22A

Norma de densidad de corriente (A/m^2 en una escala normalizada)

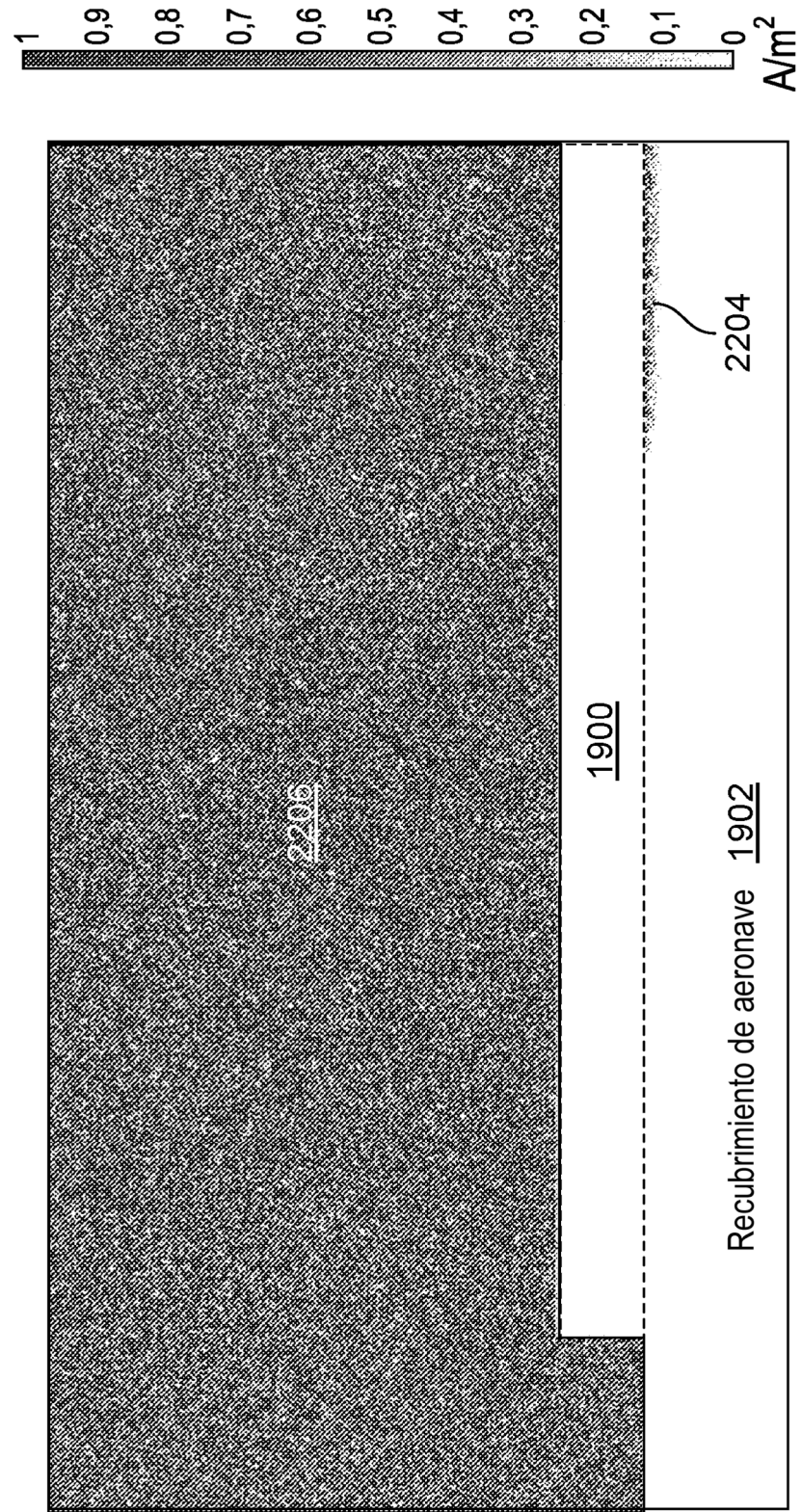


FIG. 22B

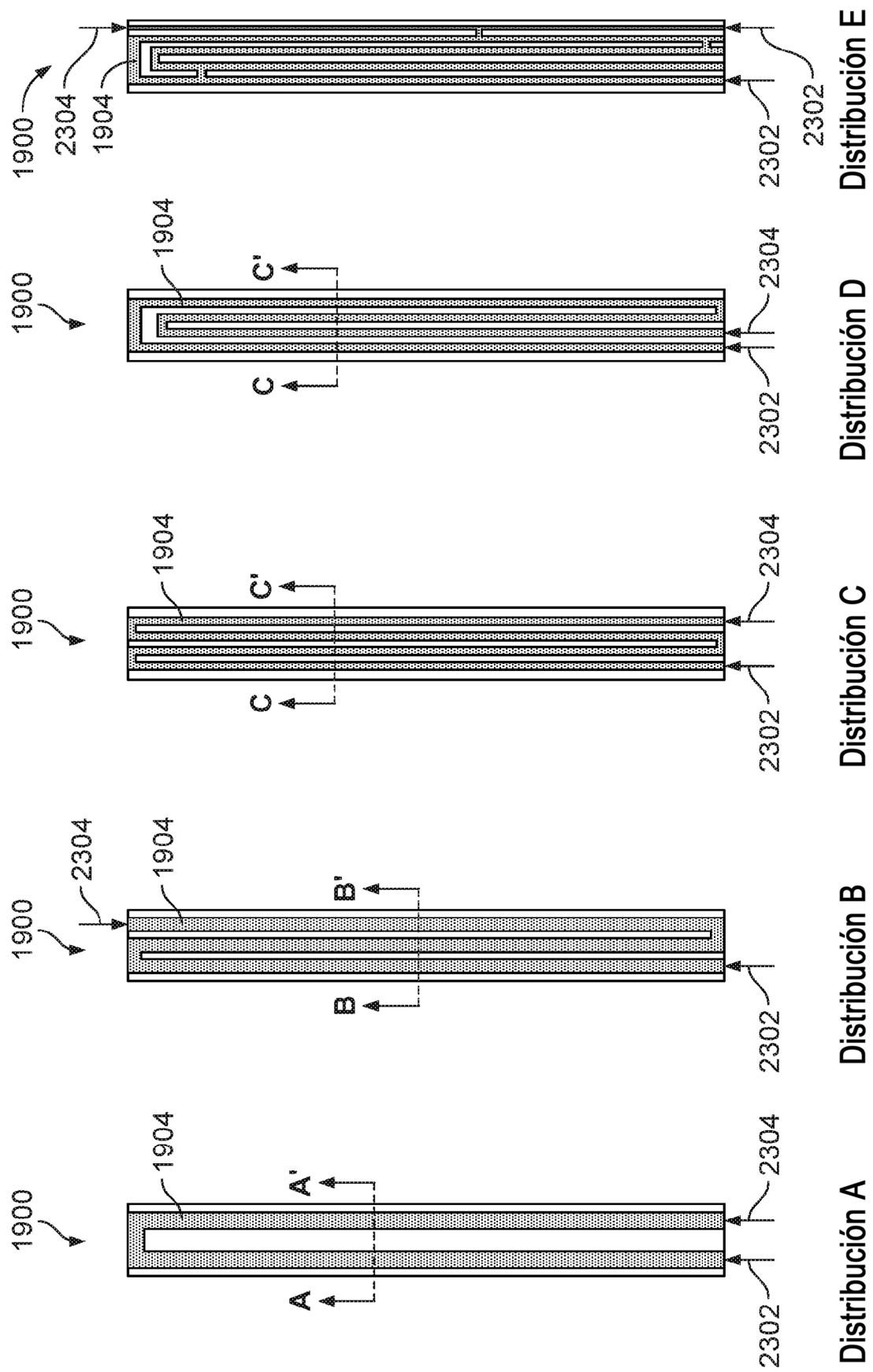
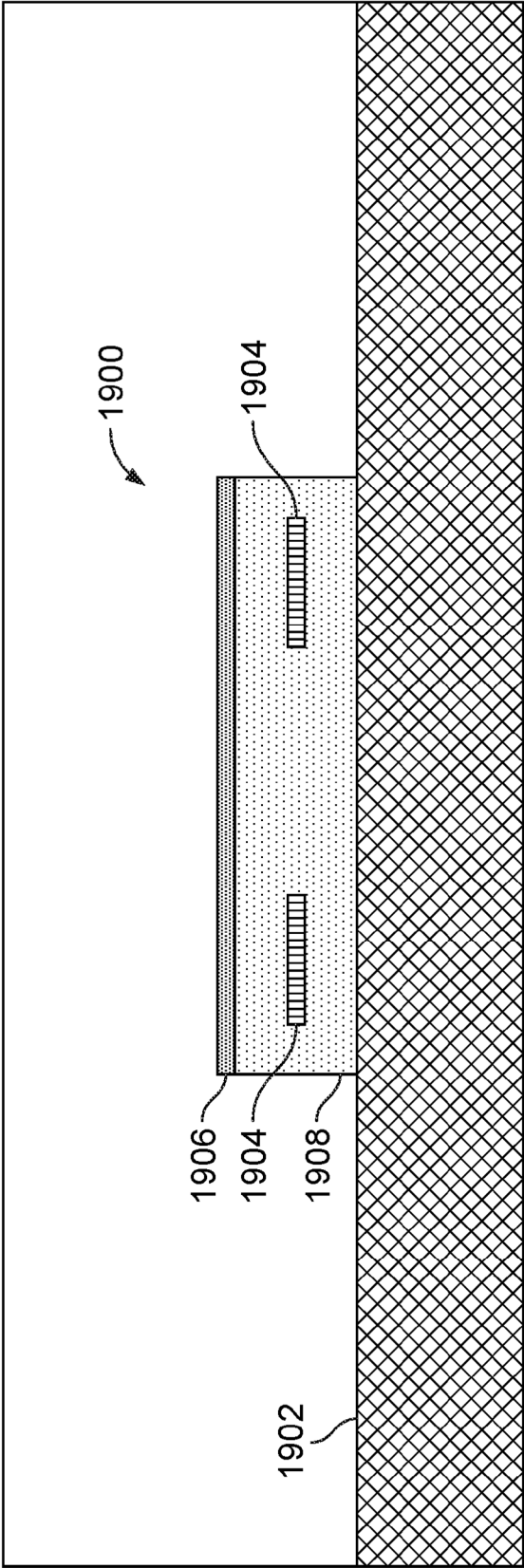


FIG. 23



Leyenda





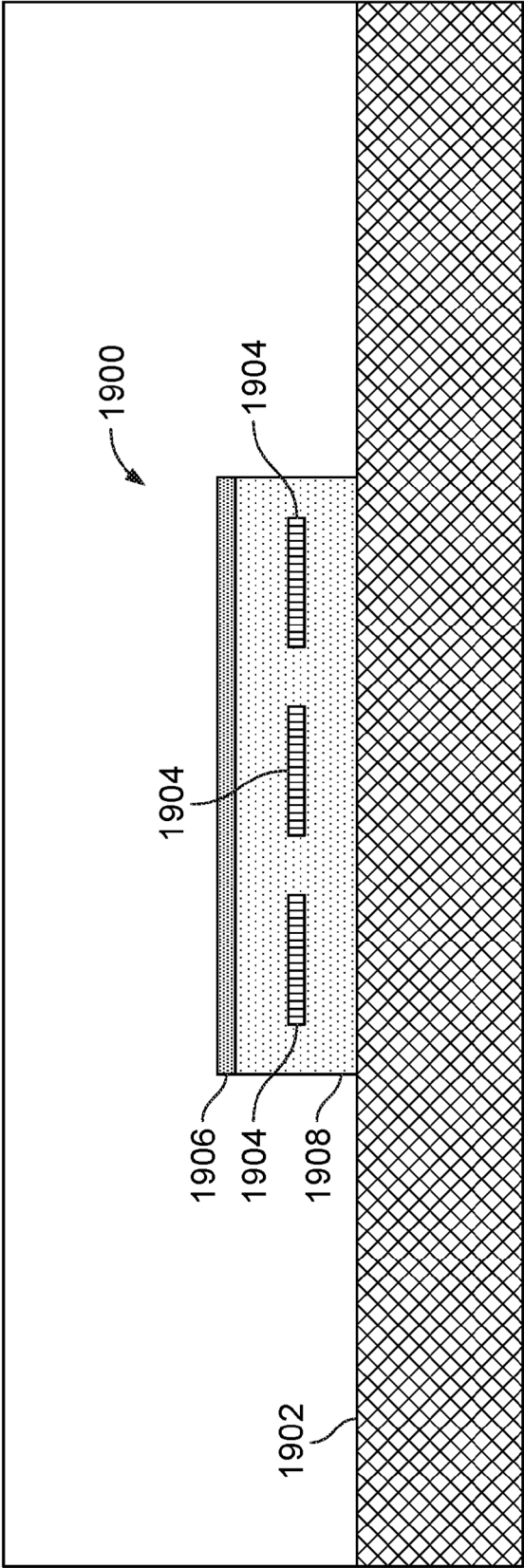
-  Material de pantalla - conductor (por ejemplo, películas de cobre/aluminio, pantallas tejidas, plata, aluminio estañado, aluminio plateado, etc.)
-  Material dieléctrico (por ejemplo, teflón, otros materiales de PTFE, Kapton, Mylar, adhesivo de una única cara, adhesivo de doble cara, etc.)
-  Materiales de capa conductora (por ejemplo, cobre, película de cobre, cinta de cobre, aluminio, plata, aluminio estañado, aluminio plateado, etc.)
-  Material de recubrimiento de aeronave (por ejemplo, Al 2024-T3, pintura de aeronave, material compuesto de fibra de carbono, material compuesto de fibra de vidrio, material compuesto de Kevlar, etc.)

FIG. 24A



Leyenda





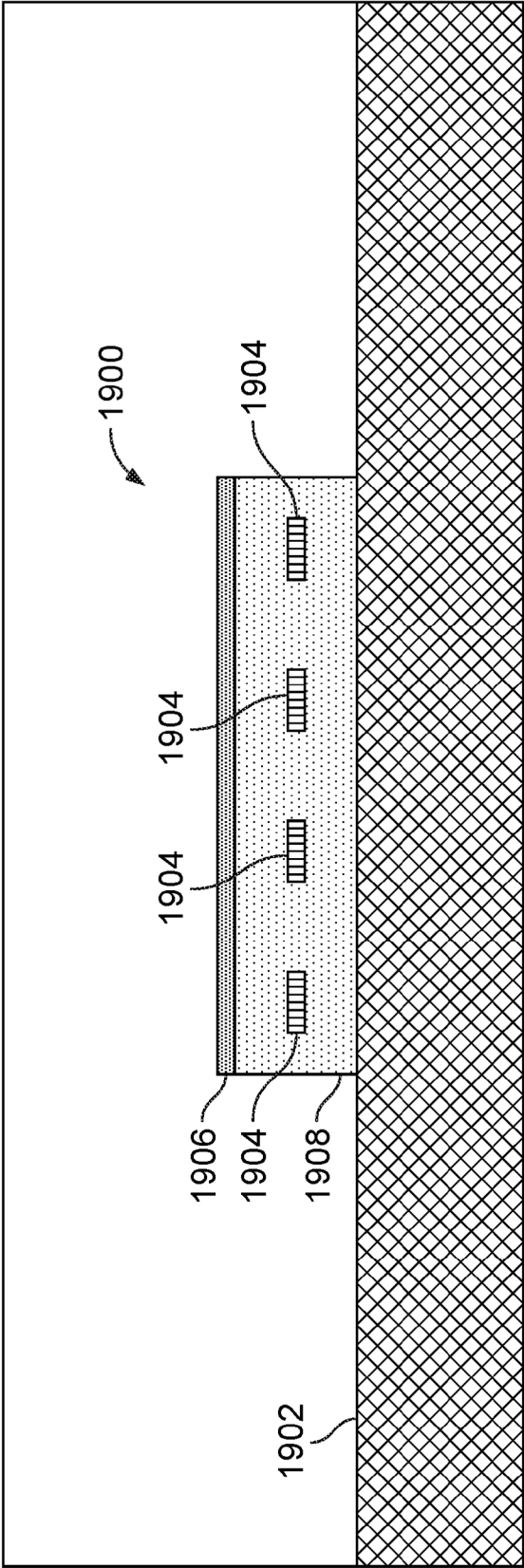
-  Materiales de pantalla - conductor (por ejemplo, películas de cobre/aluminio, pantallas tejidas, plata, aluminio estañado, aluminio plateado, etc.)
-  Materiales dieléctricos (por ejemplo, teflón, otros materiales de PTFE, Kapton, Mylar, adhesivo de una única cara, adhesivo de doble cara, etc.)
-  Materiales de capa conductora (por ejemplo, cobre, película de cobre, cinta de cobre, aluminio, plata, aluminio estañado, aluminio plateado, etc.)
-  Materiales de recubrimiento de aeronave (por ejemplo, Al 2024-T3, pintura de aeronave, material compuesto de fibra de carbono, material compuesto de fibra de vidrio, material compuesto de Kevlar, etc.)

FIG. 24B



Leyenda





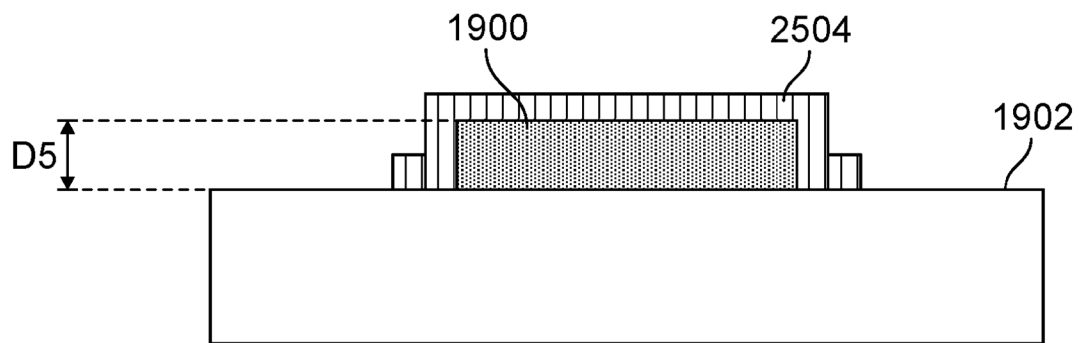
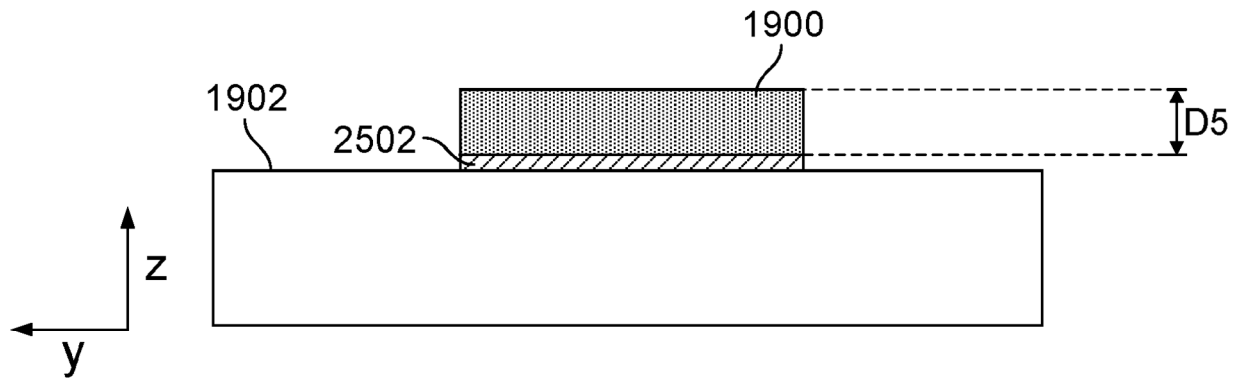
-  Materiales de pantalla - conductor (por ejemplo, películas de cobre/aluminio, pantallas tejidas, plata, aluminio estañado, aluminio plateado, etc.)
-  Materiales dieléctricos (por ejemplo, teflón, otros materiales de PTFE, Kapton, Mylar, adhesivo de una única cara, adhesivo de doble cara, etc.)
-  Materiales de capa conductora (por ejemplo, cobre, película de cobre, cinta de cobre, aluminio, plata, aluminio estañado, aluminio plateado, etc.)
-  Materiales de recubrimiento de aeronave (por ejemplo, Al 2024-T3, pintura de aeronave, material compuesto de fibra de carbono, aluminio estañado, aluminio plateado, etc.)

FIG 24C



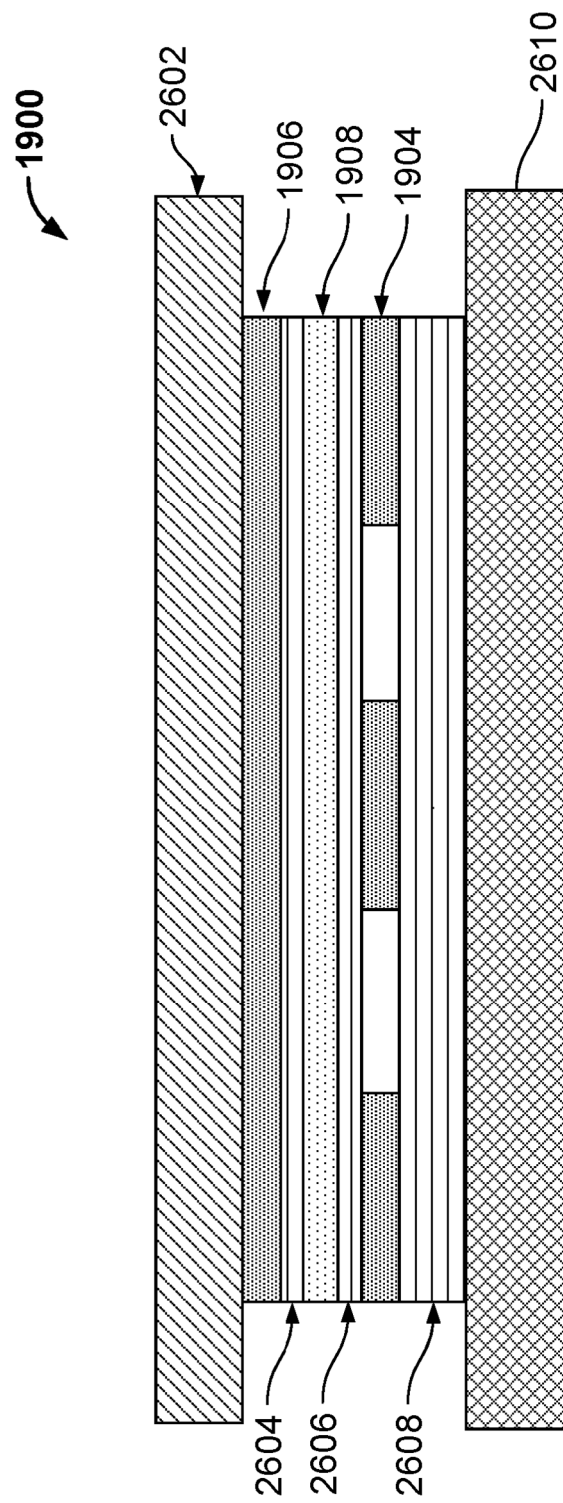


FIG. 26A

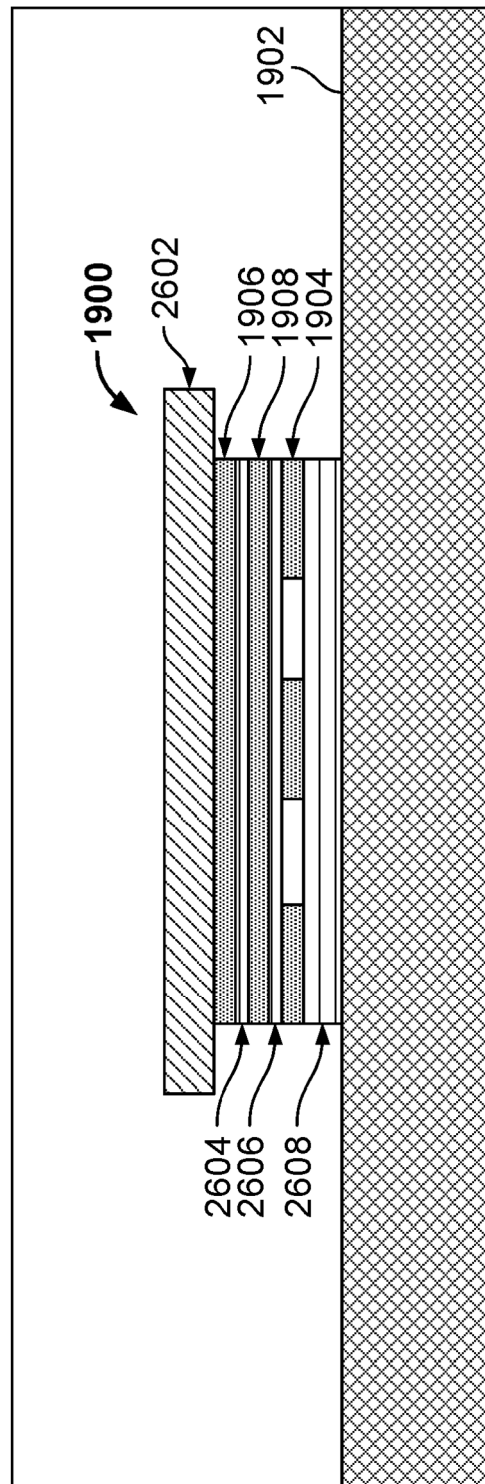
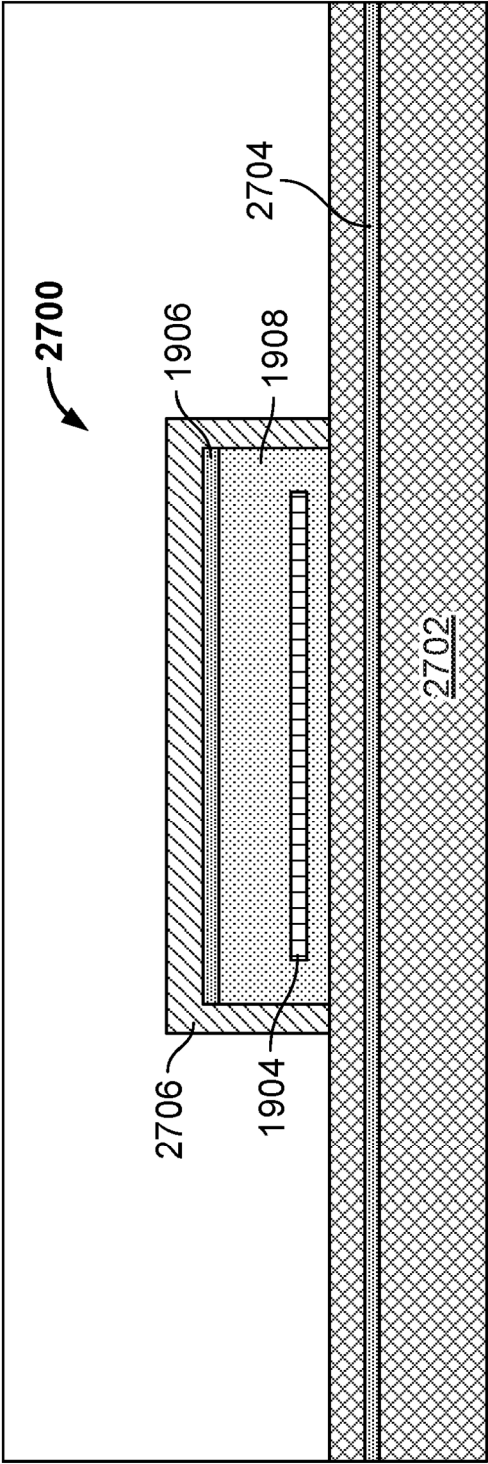


FIG. 26B








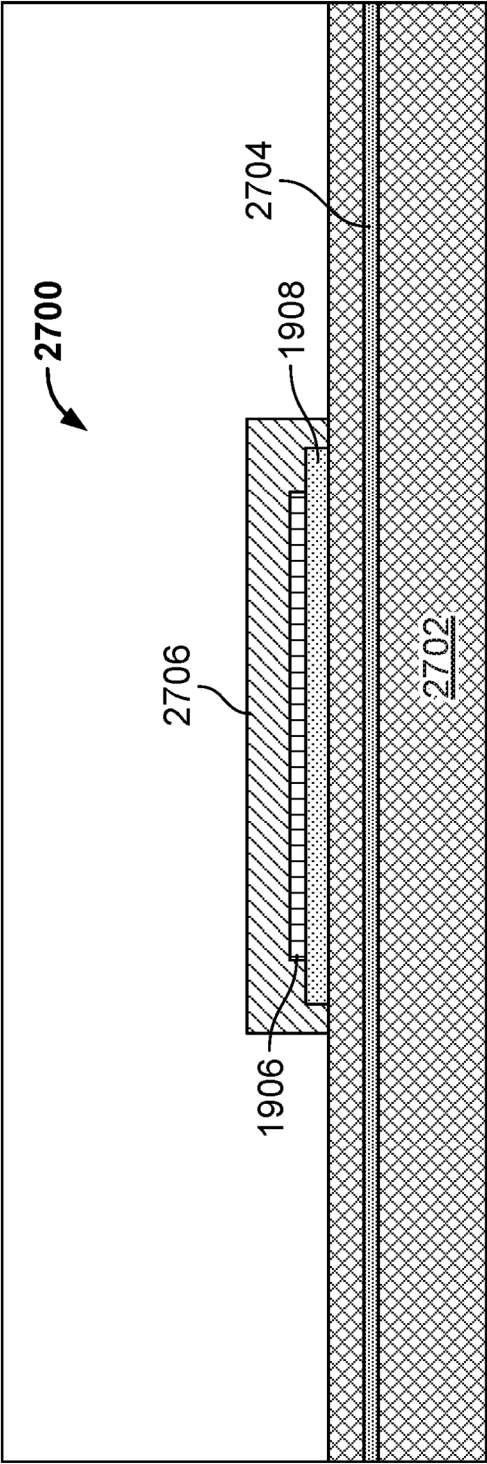
-  Materiales conductores volumétricos - conductor (por ejemplo, películas de cobre/aluminio, pantallas tejidas, plata, aluminio estañado, aluminio plateado, pantalla de fronteción frente a rayos, etc.)
-  Materiales dieléctricos (por ejemplo, teflón, otros materiales de PTFE, Kapton, Mylar, adhesivo de una única cara, adhesivo de doble cara, etc.)
-  Materiales protectores superpuestos (por ejemplo, poliuretano, polifluoruro, láminas de sustitución de pintura, sellador, pintura, adhesivo de doble cara, etc.)
-  Materiales de capa conductora (por ejemplo, cobre, película de cobre, cinta de cobre, aluminio, plata, aluminio estañado, aluminio plateado, etc.)
-  Medio volumétrico no conductor (por ejemplo, Al 2024-T3, pintura de aeronave, material compuesto de fibra de carbono, material compuesto de fibra de vidrio, material compuesto de Kevlar, etc.)

FIG. 27A








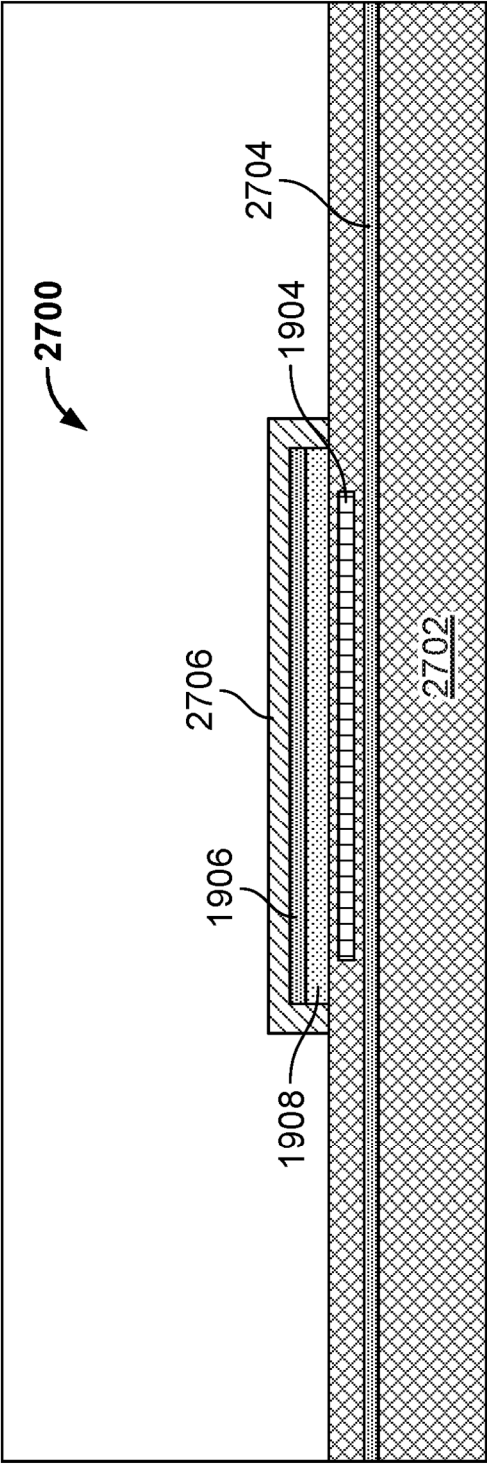
-  Materiales conductores volumétricos - conductor (por ejemplo, películas de cobre/aluminio, pantallas tejidas, plata, aluminio estañado, aluminio plateado, pantalla de fronteción frente a rayos, etc.)
-  Materiales dieléctricos (por ejemplo, teflón, otros materiales de PTFE, Kapton, Mylar, adhesivo de una única cara, adhesivo de doble cara, etc.)
-  Materiales protectores superpuestos (por ejemplo, poliuretano, polifluoruro, láminas de sustitución de pintura, sellador, pintura, adhesivo de doble cara, etc.)
-  Materiales de capa conductora (por ejemplo, cobre, película de cobre, cinta de cobre, aluminio, plata, aluminio estañado, aluminio plateado, etc.)
-  Medio volumétrico no conductor (por ejemplo, Al 2024-T3, pintura de aeronave, material compuesto de fibra de carbono, material compuesto de fibra de vidrio, material compuesto de Kevlar, etc.)

FIG. 27B








-  Materiales conductores volumétricos - conductor (por ejemplo, películas de cobre/aluminio, pantallas tejidas, plata, aluminio estañado, aluminio plateado, pantalla de fronteción frente a rayos, etc.)
-  Materiales dieléctricos (por ejemplo, teflón, otros materiales de PTFE, Kapton, Mylar, adhesivo de una única cara, adhesivo de doble cara, etc.)
-  Materiales protectores superpuestos (por ejemplo, poliuretano, polifluoruro, láminas de sustitución de pintura, sellador, pintura, adhesivo de doble cara, etc.)
-  Materiales de capa conductora (por ejemplo, cobre, película de cobre, cinta de cobre, aluminio, plata, aluminio estañado, aluminio plateado, etc.)
-  Medio volumétrico no conductor (por ejemplo, Al 2024-T3, pintura de aeronave, material compuesto de fibra de carbono, material compuesto de fibra de vidrio, material compuesto de Kevlar, etc.)

FIG. 27C

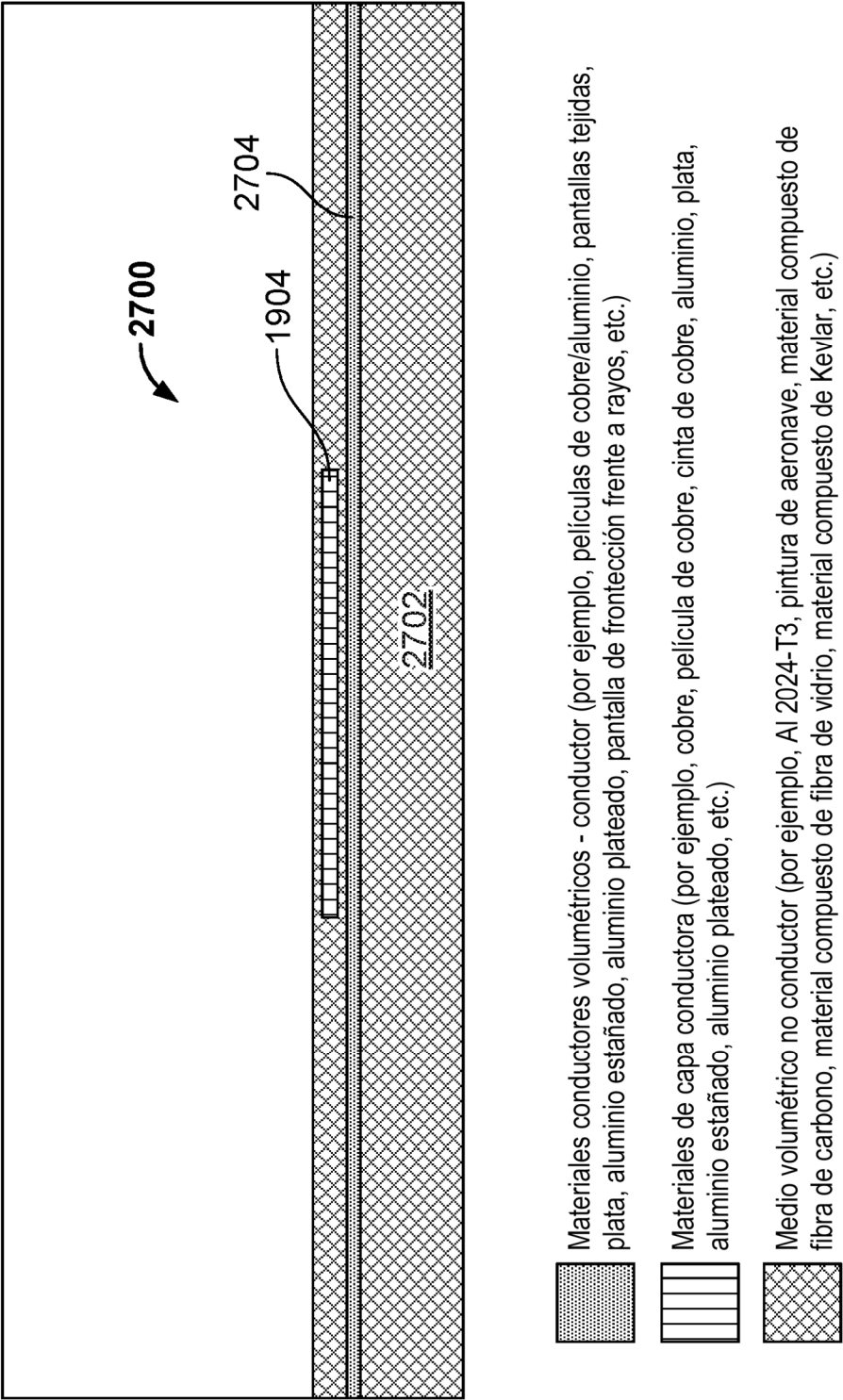
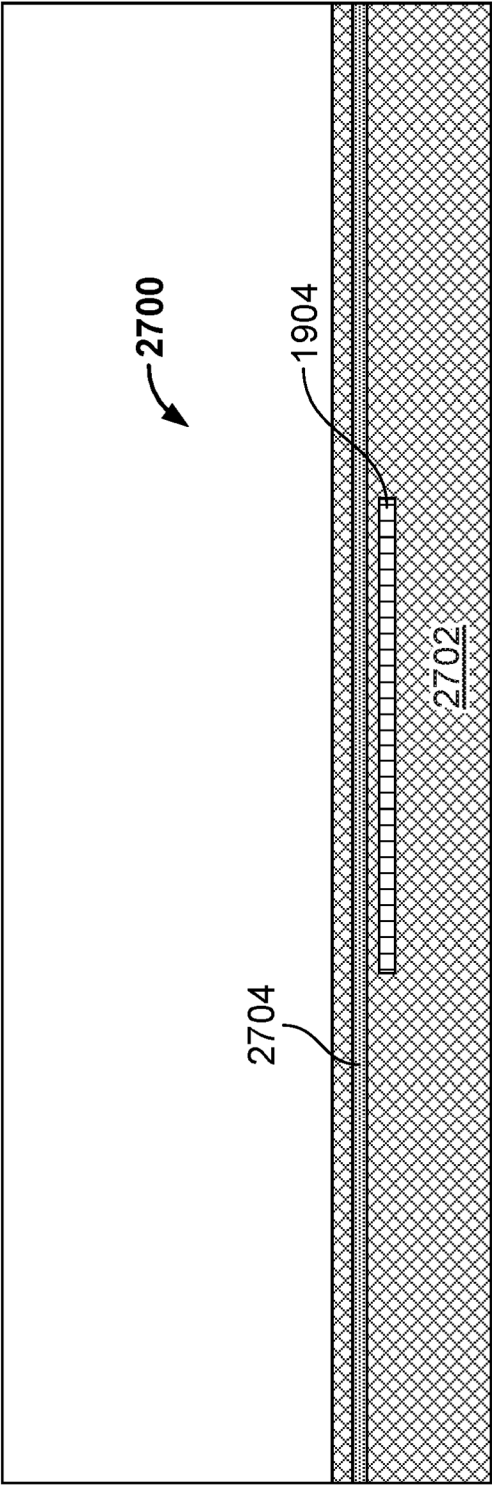


FIG. 27D






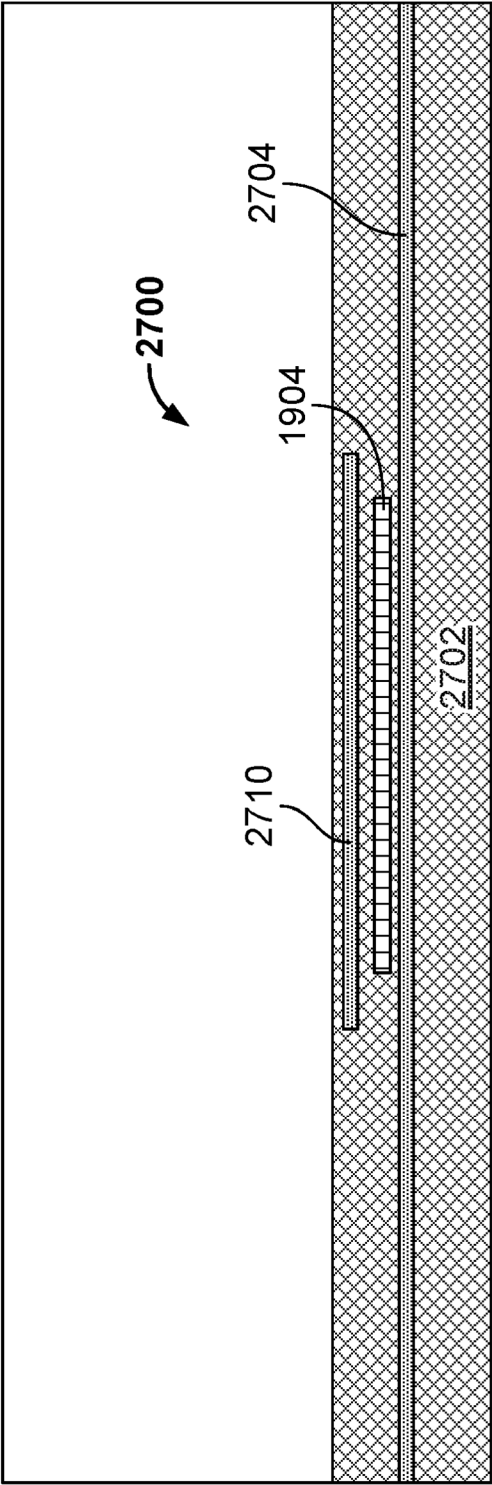
-  Materiales conductores volumétricos - conductor (por ejemplo, películas de cobre/aluminio, pantallas tejidas, plata, aluminio estañado, aluminio plateado, pantalla de fronteción frente a rayos, etc.)
-  Materiales de capa conductora (por ejemplo, cobre, película de cobre, cinta de cobre, aluminio, plata, aluminio estañado, aluminio plateado, etc.)
-  Medio volumétrico no conductor (por ejemplo, Al 2024-T3, pintura de aeronave, material compuesto de fibra de carbono, material compuesto de fibra de vidrio, material compuesto de Kevlar, etc.)

FIG. 27E






-  Materiales conductores volumétricos - conductor (por ejemplo, películas de cobre/aluminio, pantallas tejidas, plata, aluminio estañado, aluminio plateado, pantalla de fronteción frente a rayos, etc.)
-  Materiales de capa conductora (por ejemplo, cobre, película de cobre, cinta de cobre, aluminio, plata, aluminio estañado, aluminio plateado, etc.)
-  Medio volumétrico no conductor (por ejemplo, Al 2024-T3, pintura de aeronave, material compuesto de fibra de carbono, material compuesto de fibra de vidrio, material compuesto de Kevlar, etc.)

FIG. 27F

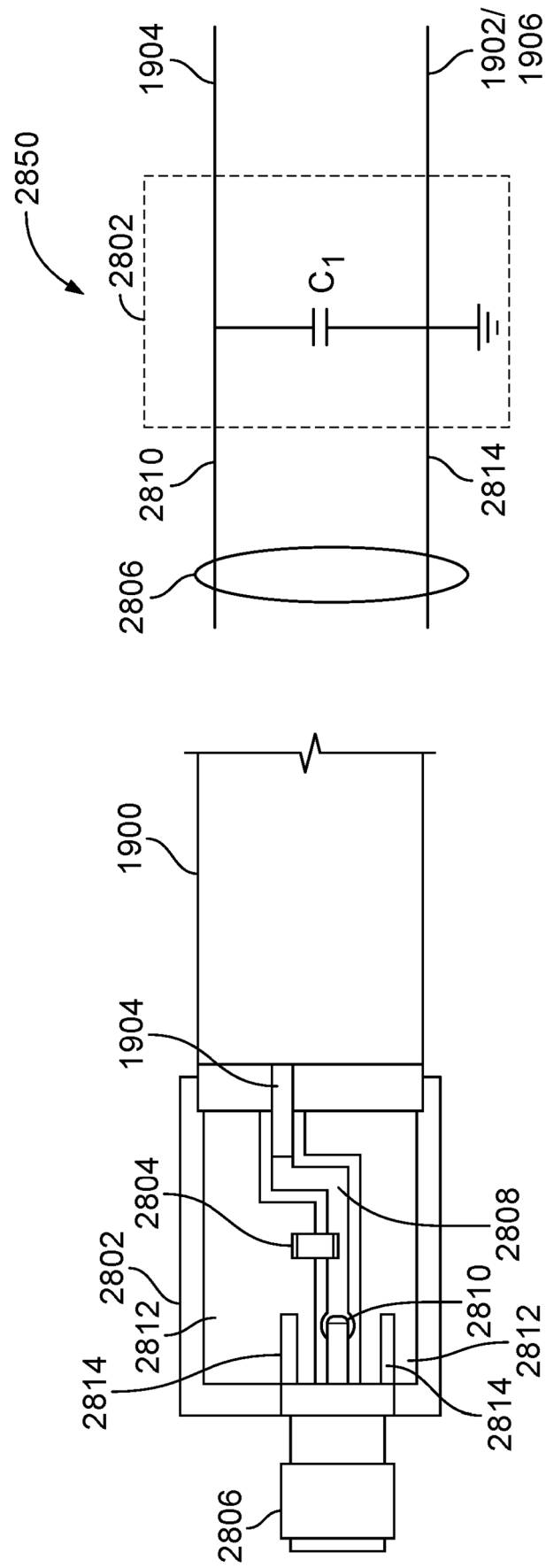


FIG. 28

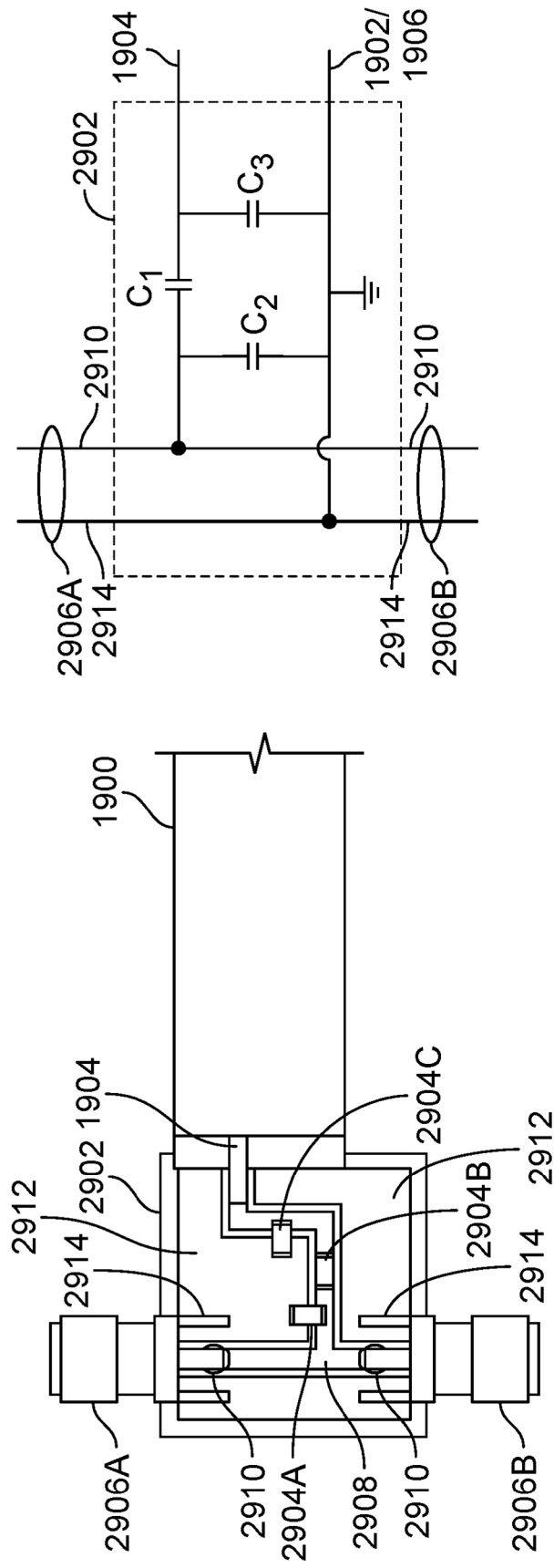


FIG. 29

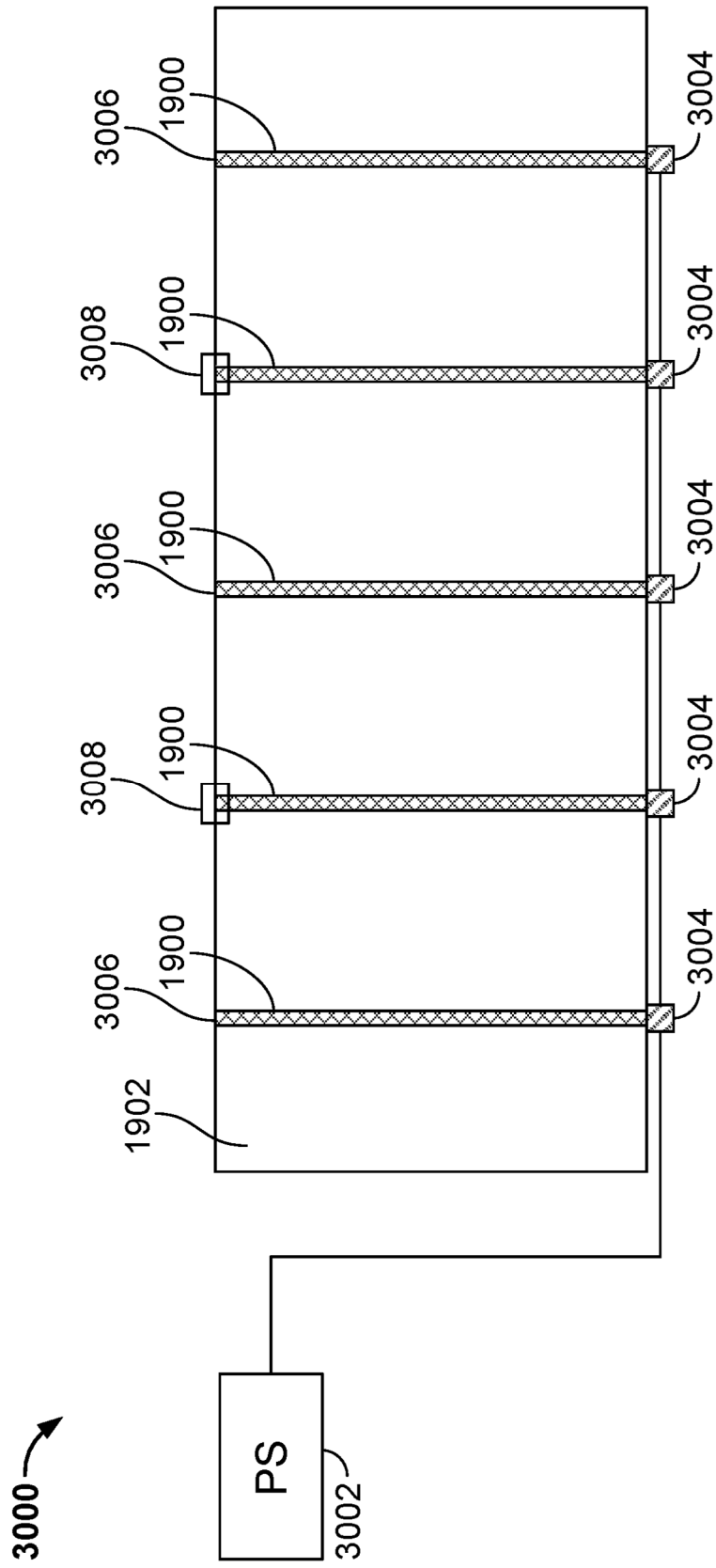


FIG. 30

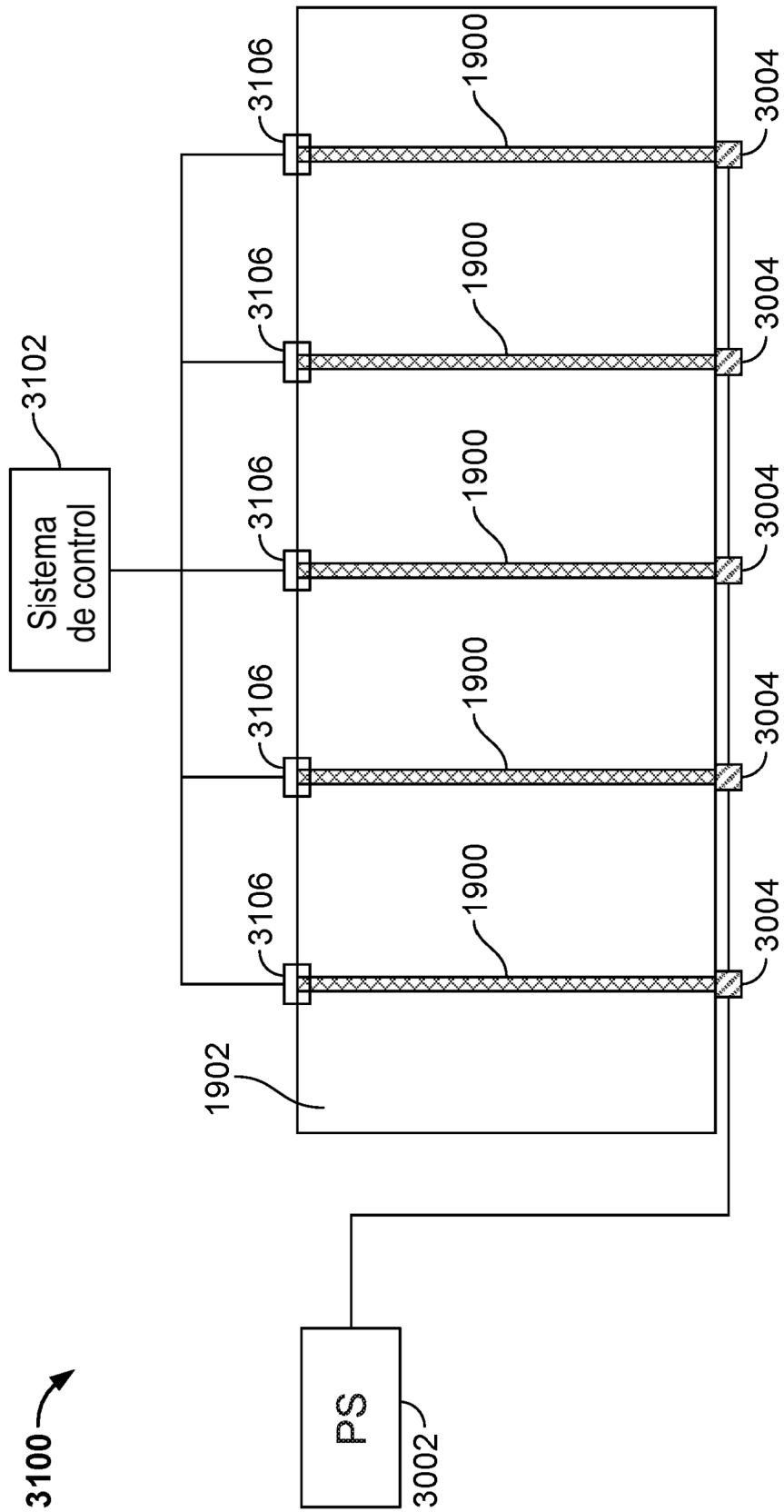


FIG. 31

3200 →

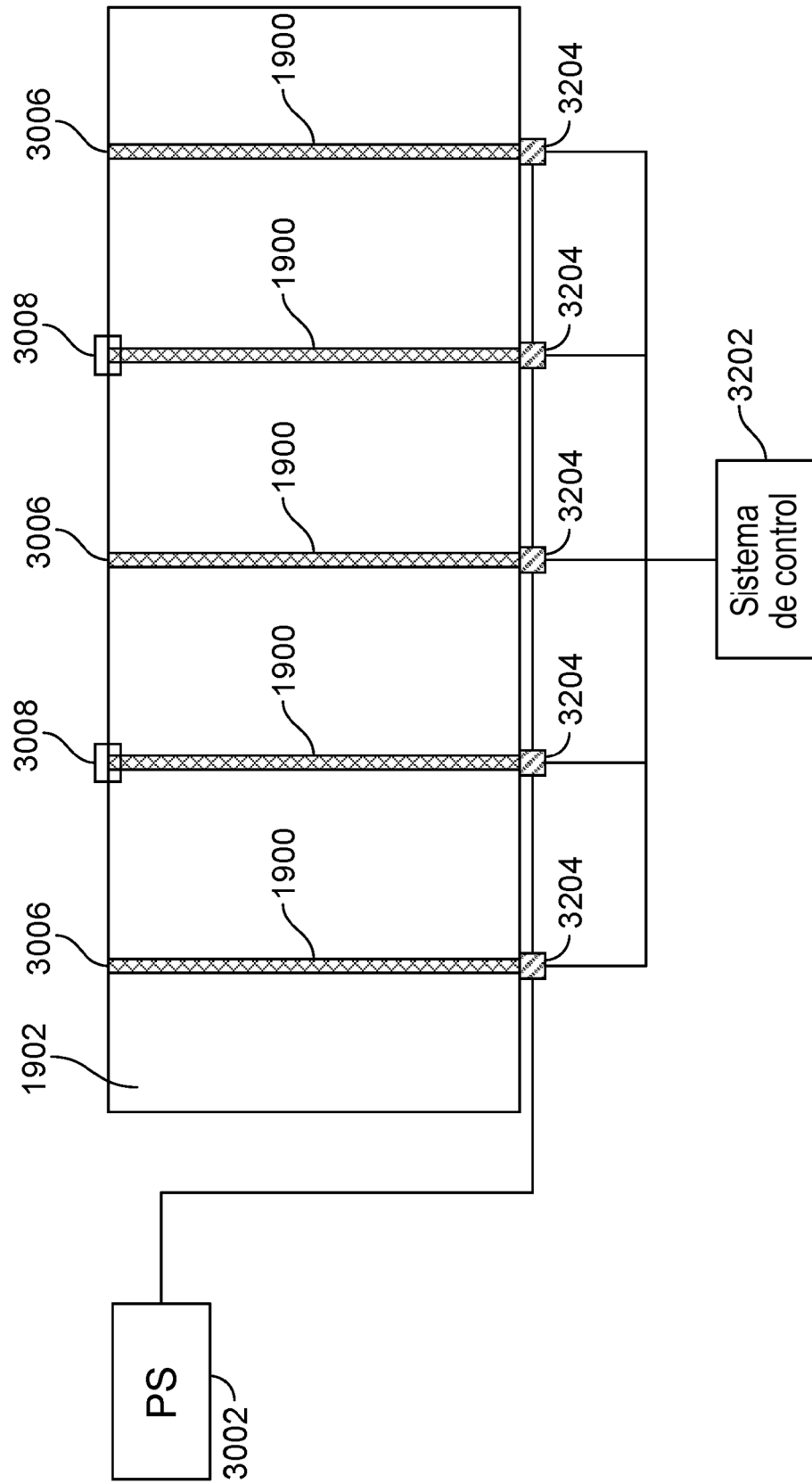


FIG. 32