

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 710 619**

51 Int. Cl.:

G06F 17/10 (2006.01)

G06F 17/50 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.02.2017 E 17157394 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.11.2018 EP 3226148**

54 Título: **Métodos de análisis de campos electromagnéticos para materiales conductores anisotrópicos**

30 Prioridad:

31.03.2016 JP 2016069876

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

26.04.2019

73 Titular/es:

**SUBARU CORPORATION (100.0%)
1-20-8, Ebisu Shibuya-ku
Tokyo 150-8554, JP**

72 Inventor/es:

TSUBATA, HIROYUKI

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 710 619 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

Métodos de análisis de campos electromagnéticos para materiales conductores anisotrópicos

5 La presente invención se refiere a métodos de análisis de campos electromagnéticos para materiales conductores anisotrópicos que tienen conductividad anisotrópica.

10 Durante el diseño de los fuselajes de los aviones, son necesarias contramedidas para la prevención de, por ejemplo, la ignición del combustible que se produce de las chispas provocadas por la caída de rayos. Con respecto a una contramedida contra los rayos, es importante aclarar la distribución de la corriente eléctrica dentro de la estructura del avión al ser golpeado por un rayo. Con el fin de lograr esto, se desea un método de análisis del campo electromagnético con alta precisión.

15 Con respecto a un método de análisis del campo electromagnético de este tipo, se utiliza ampliamente un método de diferencias finitas en el dominio del tiempo (FDTD, por su sigla en inglés) (por ejemplo, véase la Patente JP-2001-183404 A). El método FDTD implica el cálculo de los componentes del campo electromagnético (es decir, el campo eléctrico y el campo magnético) a lo largo de tres ejes ortogonales por el uso de una parrilla de análisis cúbica llamada una parrilla de Yee.

20 Como un material estructural para el fuselaje de una aeronave, un material compuesto, tal como plástico reforzado con fibra de carbono (CFRP por su sigla en inglés) de alta resistencia específica, está siendo objeto de uso práctico. Cuando se lleva a cabo un análisis del campo electromagnético de un material compuesto de este tipo, dado que cada fibra es eléctricamente conductora, la conductividad anisotrópica en la dirección de la fibra se debe tomar en consideración.

25 Un método de análisis conocido en la técnica relacionada que se ocupa de la conductividad anisotrópica implica el uso de la representación del tensor de conductividad.

30 En este método de análisis, la conductividad anisotrópica se expresa por un elemento fuera de la diagonal de un tensor de conductividad que se produce cuando la conductividad definida en una de tres ejes ortogonales del sistema de coordenadas se hace girar alrededor de un eje z. A continuación, el tensor de conductividad se aplica a la ecuación de Maxwell, y se utiliza un método de diferencias finitas, lo que se obtiene una expresión discretizada para cada eje.

35 En la definición de una parrilla de Yee, los campos electromagnéticos de los respectivos ejes discretizados están situados en diferentes posiciones en la red. Sin embargo, la expresión discretizada obtenida tiene una mezcla de los campos electromagnéticos en diferentes posiciones (es decir, los campos electromagnéticos en las posiciones indefinidas en la parrilla de Yee). Por lo tanto, el cálculo no se puede llevar a cabo con la expresión en este estado (esto se describirá más adelante en detalle en la forma de realización). En el método de análisis en la técnica relacionada, el análisis se intenta con base en la suposición de que estos campos eléctricos en diferentes posiciones son idénticos entre sí.

45 Sin embargo, la simple definición de estos campos eléctricos en diferentes posiciones como siendo idénticos entre sí, como en el método de análisis descrito con anterioridad en la técnica relacionada, conduce a la una precisión de aproximación reducida.

50 La Patente US 2015/142397 A1 proporciona un método y un aparato para la simulación de un elemento de malla de un medio anisotrópico. La Patente US 2009/055121 A1 se refiere a un análisis del campo electromagnético llevado a cabo por un método de Diferencias Finitas en el Dominio del Tiempo.

Es deseable llevar a cabo un análisis del campo electromagnético de un material conductor anisotrópico que tiene conductividad anisotrópica con una precisión mayor que en la técnica relacionada. Este objeto se consigue con las características de las reivindicaciones.

55 Un aspecto de la presente invención proporciona un método de análisis del campo electromagnético de acuerdo con lo definido en la reivindicación 1.

60 En un caso en el que el componente del campo electromagnético se encuentra en el primer lado que se extiende a lo largo de un borde periférico del material conductor anisotrópico, el componente del campo electromagnético se puede calcular con base en cualquiera de los componentes del campo electromagnético incluidos en el material conductor anisotrópico.

65 La parrilla de análisis puede ser una parrilla de análisis cúbica se que se extiende a lo largo de tres ejes ortogonales. Los componentes del campo electromagnético pueden incluir cuatro componentes del campo electromagnético situados respectivamente en cuatro de los segundos lados acoplados al primer lado en dos puntos nodales de los extremos opuestos del primer lado en el que se encuentra el componente del campo electromagnético.

El método de análisis del campo electromagnético puede utilizar un método de diferencias finitas en el dominio del tiempo. La parrilla de análisis puede ser una parrilla de análisis cúbica se que se extiende a lo largo de tres ejes ortogonales. Un tensor de conductividad obtenido cuando la conductividad definida en un sistema de coordenadas de los tres ejes ortogonales se gira alrededor de un eje ortogonal tanto a la primera dirección como a la segunda dirección puede ser aplicado a la expresión de Ampere y posteriormente podrá ser discretizado por el uso de un método de diferencias finitas. Cuando el cálculo se lleva a cabo de manera repetida por medio de la aplicación de un método iterativo para la expresión discretizada, un componente del campo electromagnético indefinido incluido en la expresión discretizada se puede calcular como el componente del campo electromagnético de los componentes del campo electromagnético.

En el método de análisis del campo electromagnético de acuerdo con el aspecto anterior, el material conductor anisotrópico puede ser de plástico reforzado con fibra en el que el plástico está reforzado con fibra conductora que se extiende en una cualquiera de la primera dirección y la segunda dirección.

Una forma de realización de la presente invención se describirá a continuación con referencia a las figuras.

Las Figuras 1A y 1B ilustran métodos de cálculo para la determinación de un componente del campo electromagnético indefinido a partir de una pluralidad de componentes del campo electromagnético definido; y La Figura 2A ilustra un modelo analítico en un ejemplo analítico, la Figura 2B ilustra un resultado del análisis obtenido de acuerdo con un método de análisis en la técnica relacionada, y la Figura 2C ilustra un resultado del análisis obtenido de acuerdo con un método de análisis del campo electromagnético de acuerdo con una forma de realización.

En un método de análisis del campo electromagnético para un material conductor anisotrópico (de aquí en adelante denominado simplemente como "método de análisis del campo electromagnético") de acuerdo con esta forma de realización, la propiedad electromagnética, tal como la distribución de la corriente eléctrica, de un material que tiene conductividad anisotrópica se calcula por el uso de un método de diferencias finitas en el dominio del tiempo (FDTD). El método FDTD es un método de análisis numérico que implica el cálculo de los componentes del campo electromagnético a lo largo de tres ejes ortogonales por el uso de una parrilla de análisis cúbica (Parrilla de Yee) en la que los lados respectivos se extienden a lo largo de tres ejes ortogonales xyz.

El material conductor anisotrópico que se analiza tiene una conductividad anisotrópica en la que la conductividad en una dirección determinada difiere de la de otra dirección. En esta forma de realización, el material conductor anisotrópico es de plástico reforzado con fibra (FRP, por su sigla en inglés) en la que el plástico está reforzado con fibras conductoras. En tal FRP, la conductividad en la dirección de las fibras es mayor que en otra dirección, por lo que la corriente eléctrica fluye con facilidad en la dirección de la fibra.

En el método de análisis del campo electromagnético de acuerdo con esta forma de realización, se emplea una técnica de análisis por el uso de representación de tensor anisotrópico-de conductividad.

Esta técnica de análisis se describirá en detalle a continuación.

En vista de un estado donde el objeto que se está analizando gira alrededor de un eje ortogonal a la dirección de la fibra, la conductividad anisotrópica en la dirección diferente de los tres ejes ortogonales se puede derivar por el uso de una expresión relacional de una densidad de corriente J y un campo eléctrico E expresado con la expresión (1) a continuación y la rotación de la densidad de corriente y el campo eléctrico alrededor del eje z por un ángulo θ , como en la expresión (2) a continuación. Cada parte subrayada en la expresión (3) obtenida por medio de la modificación de la expresión (2) es un elemento fuera de la diagonal de un tensor de conductividad. Este elemento fuera de la diagonal es cero cuando $\theta = 0$.

$$J = \sigma E \quad \cdot \cdot \cdot \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_x \\ J_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_p & 0 \\ 0 & \sigma_t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} \quad \cdot \cdot \cdot \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} J_x \\ J_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_p \cos^2\theta + \sigma_t \sin^2\theta & \underline{(\sigma_p - \sigma_t) \cos\theta \sin\theta} \\ \underline{(\sigma_p - \sigma_t) \cos\theta \sin\theta} & \sigma_t \cos^2\theta + \sigma_p \sin^2\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} \quad \cdot \cdot \cdot \quad (3)$$

En este caso, σ_p indica la conductividad en la dirección de la fibra, y σ_t indica la conductividad en una dirección ortogonal a la dirección de la fibra dentro del plano x-y.

5 La conductividad del material que tiene anisotropía en cualquier dirección dentro del plano x-y se puede expresar con la expresión (4) a continuación, suponiendo que los componentes σ_{xx} , σ_{yy} , y σ_{zz} corresponden a las respectivas direcciones axiales y los elementos fuera de la diagonal mencionados con anterioridad se indican por σ_{xy} y σ_{yx} .

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & 0 \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{zz} \end{bmatrix} \quad \cdot \cdot \cdot \quad (4)$$

10 Con el fin de resolver directamente la ecuación de Maxwell en el método FDTD, la expresión (6) a continuación se obtiene por medio de la aplicación de la expresión (4) a la expresión de Ampere (5) en la ecuación de Maxwell.

$$\nabla \times H = \epsilon \frac{\partial E}{\partial t} + \sigma E \quad \cdot \cdot \cdot \quad (5)$$

15 En la expresión (6), cada parámetro se satisface en cualquier punto en un espacio tridimensional. Sin embargo, en la definición de una parrilla de Yee en el método FDTD, los componentes discretizados E_x , E_y , y E_z existen en diferentes posiciones en la parrilla de análisis. El campo eléctrico en la parrilla de Yee se encuentra en un área correspondiente a los lados de la parrilla, y los componentes E_x , E_y , y E_z están situados en lados diferentes (es decir, lados que se extienden a lo largo de los respectivos ejes) de cada parrilla. En la discretización, la posición del campo eléctrico tiene que ser clarificada.

20

$$\begin{cases} \frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} = \epsilon \frac{\partial E_x}{\partial t} + \sigma_{xx} E_x + \sigma_{xy} E_y \\ \frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} = \epsilon \frac{\partial E_y}{\partial t} + \sigma_{yx} E_x + \sigma_{yy} E_y \\ \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial z} = \epsilon \frac{\partial E_z}{\partial t} + \sigma_{zz} E_z \end{cases} \quad \cdot \cdot \cdot \quad (6)$$

25 Por medio de la denotación de la posición del campo eléctrico como " i, j, k " y la discretización de la expresión (6) por el uso de un método de diferencias finitas, se obtienen la expresión (7) a la expresión (9) a continuación.

$$E_x^n|_{i+\frac{1}{2},j,k} = k_{1x} E_x^{n-1}|_{i+\frac{1}{2},j,k} + k_{xy} \left(E_y^n|_{i+\frac{1}{2},j,k} + E_y^{n-1}|_{i+\frac{1}{2},j,k} \right) + k_{2x} \frac{H_z^{n-1}|_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2},k} - H_z^{n-1}|_{i+\frac{1}{2},j-\frac{1}{2},k}}{\Delta y} + k_{2x} \frac{H_y^{n-1}|_{i+\frac{1}{2},j,k+\frac{1}{2}} - H_y^{n-1}|_{i+\frac{1}{2},j,k-\frac{1}{2}}}{\Delta z} \quad \cdot \cdot \cdot \quad (7)$$

$$E_y^n|_{i,j+\frac{1}{2},k} = k_{1y} E_y^{n-1}|_{i,j+\frac{1}{2},k} + k_{yx} \left(E_x^n|_{i,j+\frac{1}{2},k} + E_x^{n-1}|_{i,j+\frac{1}{2},k} \right) + k_{2y} \frac{H_x^{n-1}|_{i,j+\frac{1}{2},k+\frac{1}{2}} - H_x^{n-1}|_{i,j+\frac{1}{2},k-\frac{1}{2}}}{\Delta z} + k_{2y} \frac{H_z^{n-1}|_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2},k} - H_z^{n-1}|_{i-\frac{1}{2},j+\frac{1}{2},k}}{\Delta x} \quad \cdot \cdot \cdot \quad (8)$$

$$E_z^n|_{i,j,k} = k_{1z} E_z^{n-1}|_{i,j,k} + k_{2z} \frac{H_y^{n-1}|_{i+\frac{1}{2},j,k+\frac{1}{2}} - H_y^{n-1}|_{i-\frac{1}{2},j,k+\frac{1}{2}}}{\Delta x} + k_{2z} \frac{H_x^{n-1}|_{i,j+\frac{1}{2},k+\frac{1}{2}} - H_x^{n-1}|_{i,j-\frac{1}{2},k+\frac{1}{2}}}{\Delta y} \quad \cdot \cdot \cdot \quad (9)$$

5 En la expresión (7) y la expresión (8), hay una mezcla de campos eléctricos en diferentes posiciones. De manera específica, en una parrilla de Yee, hay un componente E_x (de aquí en adelante denominado como "componente indefinido E_x ") situado en un lado donde el componente E_x no está definido (es decir, el lado donde un componente E_y está definido a lo largo del eje y), y un componente E_y (de aquí en adelante denominado como "componente indefinido E_y ") situado en un lado donde el componente E_y no está definido (es decir, el lado donde el componente E_x está definido a lo largo del eje x). Por lo tanto, los cálculos no se pueden llevar a cabo por el uso de las expresiones en estos estados.

10 Con respecto a este problema, la técnica de análisis en la técnica relacionada utiliza de manera simultánea la expresión (7) y la expresión (8), en el supuesto de que estos campos eléctricos en diferentes posiciones son idénticos entre sí, como en la expresión (10) a continuación.

$$\begin{cases} E_x^n|_{i,j+\frac{1}{2},k} = E_x^n|_{i+\frac{1}{2},j,k} \\ E_y^n|_{i+\frac{1}{2},j,k} = E_y^n|_{i,j+\frac{1}{2},k} \end{cases} \dots (10)$$

15 Sin embargo, la definición de estos campos eléctricos en diferentes posiciones como siendo idénticos entre sí conduce a una precisión de aproximación reducida.

20 De acuerdo con lo ilustrado en la Figura 1A, el método de análisis del campo electromagnético de acuerdo con esta forma de realización no utiliza la suposición con base en la expresión (10) anterior, sino que se aproxima al valor del componente indefinido E_x (indicado por una flecha sólida en la Figura 1A) como un valor promedio de cuatro componentes E_x (indicado por flechas vacías en la Figura 1A), que son los componentes E_x que se encuentran en lados donde se definen los componentes E_x (de aquí en adelante denominados como "componentes definidos E_x ") y que se encuentran en los cuatro lados que rodean el componente indefinido E_x . Además, lo mismo se aplica al componente E_y . De manera específica, de acuerdo con lo ilustrado en la Figura 1B, similar al caso del componente E_x , el valor del componente indefinido E_y es aproximado como un valor promedio de cuatro componentes E_y , que son los componentes E_y que están situados en los lados donde se definen los componentes E_y (de aquí en adelante denominados como "componentes definidos E_y ") y que están ubicados en los cuatro lados que rodean el componente indefinido E_y .

30 En detalle, el componente indefinido E_x y el componente indefinido E_y se calculan por el uso de la expresión (11) y la expresión (12) a continuación.

$$E_x^n|_{i,j+\frac{1}{2},k} = \frac{E_x^n|_{i+\frac{1}{2},j,k} + E_x^n|_{i+\frac{1}{2},j+1,k} + E_x^n|_{i-\frac{1}{2},j,k} + E_x^n|_{i-\frac{1}{2},j+1,k}}{4} \dots (11)$$

$$E_y^n|_{i+\frac{1}{2},j,k} = \frac{E_y^n|_{i,j+\frac{1}{2},k} + E_y^n|_{i+1,j+\frac{1}{2},k} + E_y^n|_{i,j-\frac{1}{2},k} + E_y^n|_{i+1,j-\frac{1}{2},k}}{4} \dots (12)$$

35 Sin embargo, si el componente indefinido E_x se encuentra en un lado que se extiende a lo largo de un borde periférico del objeto que se está analizando (es decir, el límite con el espacio periférico), sólo dos componentes definidos E_x (dentro del límite), incluido en el objeto que se está analizando, de los cuatro componentes definidos E_x a ser promediados se utilizan para calcular el componente indefinido E_x , y los valores de los dos componentes definidos restantes E_x incluidos en el espacio periférico no se utilizan.

40 Por ejemplo, en la Figura 1A, en un caso en el que la parrilla de análisis derecha está incluida en el objeto que se está analizando y la parrilla de análisis izquierda pertenece al espacio periférico, sólo dos componentes definidos E_x de $i + 1/2$ se utilizan para calcular el componente indefinido E_x .

45 Lo mismo se aplica al componente indefinido E_y .

El componente indefinido E_x se puede calcular con base en una pluralidad de componentes definidos circundantes E_x , y el método de interpolación del componente indefinido E_x a partir de las posiciones y el número de componentes definidos E_x y de una pluralidad de componentes definidos E_x no se limita al descrito con anterioridad.

5 Si la expresión (11) y la expresión (12) anterior se sustituyen en la expresión (7) y la expresión (8), habría ocho incógnitas para E_x y E_y . Por medio de la aplicación de ellos a diversas ubicaciones en las parrillas de análisis y, de manera simultánea, su aplicación en todo el espacio analítico para configurar una matriz, es posible un análisis.

10 Sin embargo, en esta forma de realización, un método iterativo, de acuerdo con lo tipificado por el método de Gauss-Seidel, se aplica como un método más eficiente, en lugar de utilizar de manera simultánea la expresión (7) y la expresión (8), de manera tal que el cálculo se lleva a cabo de manera repetida hasta que las velocidades de cambio de los componentes E_x y E_y se vuelven lo suficientemente pequeñas (menores que o iguales a un valor umbral predeterminado). Luego, durante este proceso de cálculo repetido, los componentes indefinidos E_x y E_y se interpolan, de acuerdo con lo apropiado, con una pluralidad de componentes E_x y E_y por el uso de la expresión (11) y la expresión (12).

En consecuencia, se puede analizar la propiedad electromagnética del material conductor anisotrópico.

Ejemplo Analítico

20 A continuación, se describirá un ejemplo analítico por el uso del método de análisis del campo electromagnético de acuerdo con esta forma de realización.

25 En este ejemplo analítico, el método de análisis del campo electromagnético de acuerdo con esta forma de realización se compara con el método de análisis descrito con anterioridad en la técnica relacionada para estudiar la validez de los dos métodos.

Modelo Analítico

30 Un modelo analítico utilizado para la realización de la comparación es una placa plana unidireccional de material, de acuerdo con lo ilustrado en la Figura 2A. Esta placa plana tiene un tamaño de 300 mm por 300 mm por 10 mm, y el número de malla es $21 \times 21 \times 1$.

Condiciones de Análisis

35 Una varilla de metal definida por una sola línea en una parrilla está acoplada a un objeto que se está analizando y un límite de absorción de manera tal que se defina la barra de metal como un electrodo. Un electrodo aplicador y un electrodo de retorno están acoplados a los extremos opuestos de la placa plana en una línea diagonal del mismo que es paralela a la dirección de la fibra.

40 La corriente aplicada tiene un valor de pico de 3 kA en una forma de onda del componente A para una prueba de rayo de aeronave regulado de acuerdo con SAE ARP-5416.

45 Si bien en este ejemplo analítico se calcula la densidad de corriente, la densidad de corriente a determinarse en el método de análisis del campo electromagnético de acuerdo con esta forma de realización tiene que ser calculado en vista del efecto de un elemento fuera de la diagonal de un tensor de conductividad, de acuerdo con lo indicado en la expresión (13) y la expresión (14) a continuación.

$$J_x = \sigma_{xx}E_x + \sigma_{xy}E_y \quad \cdot \cdot \cdot \quad (13)$$

$$J_y = \sigma_{yx}E_x + \sigma_{yy}E_y \quad \cdot \cdot \cdot \quad (14)$$

50 Dado que el campo eléctrico en una parrilla de Yee se encuentra en un área correspondiente a los lados de cada parrilla, la densidad de corriente, que es el resultado del cálculo descrito con anterioridad, es un valor en cada lado de la parrilla. La densidad de corriente en cada celda se calcula como un valor promedio de las densidades de corriente que rodean la celda.

Resultado del análisis

55 Las Figuras 2B y 2C ilustran los resultados de este ejemplo analítico e ilustran la densidad de corriente después de $6,4 \mu s$ en los que la corriente aplicada alcanza el valor pico. De manera específica, la Figura 2B corresponde al método de análisis en la técnica relacionada, mientras que la Figura 2C corresponde al método de análisis del campo electromagnético de acuerdo con esta forma de realización.

60 Cada resultado del análisis indica la distribución de la corriente eléctrica que se muestra por medio del llenado de las celdas formadas por la parrilla de análisis por el uso de gradación de color. Con el fin de mostrar la dirección en la

que la corriente eléctrica fluye en cada celda, las direcciones del vector formado por los componentes J_x y J_y en la expresión (12) y la expresión (13) se indican por flechas.

5 De acuerdo con lo ilustrado en la Figura 2B, en el método de análisis en la técnica relacionada, la dirección de la corriente en cada celda es paralela a la dirección de la fibra, pero la concentración de la corriente provocada por la anisotropía no se puede calcular.

10 En contraste, de acuerdo con lo ilustrado en la Figura 2C, en el método de análisis del campo electromagnético de acuerdo con esta forma de realización, se calcula la distribución de la corriente eléctrica fuerte sobre la línea diagonal de la placa plana de tal manera como para acoplar los dos electrodos entre sí. Por lo tanto, se puede considerar que se reproduce la distribución de la corriente eléctrica de acuerdo con la conductividad anisotrópica en la dirección de la fibra.

Efectos

15 Por consiguiente, en el método de análisis del campo electromagnético de acuerdo con esta forma de realización, un componente indefinido E_x situado en un lado que se extiende a lo largo del eje y de la parrilla de análisis se calcula con base en una pluralidad de componentes definidos E_x que rodean el componente indefinido E_x y situado en lados que se extienden a lo largo del eje x , y un componente indefinido E_y se calcula de manera similar con base en una pluralidad de componentes definidos E_y .

20 En otras palabras, los componentes indefinidos E_x y E_y se calculan por medio de interpolación con base en la pluralidad de componentes definidos que rodean E_x y E_y .

25 Por lo tanto, en comparación con la técnica relacionada en la que se define simplemente que los campos eléctricos en diferentes posiciones son idénticos entre sí, un análisis del campo electromagnético de un material conductor anisotrópico que tiene conductividad anisotrópica se puede llevar a cabo con gran precisión.

Modificaciones

30 Una forma de realización a la que la presente invención es aplicable no se limita a la forma de realización anterior, y las modificaciones son permisibles, de acuerdo con lo apropiado, con la condición de que no se aparten del alcance de la invención.

35 Por ejemplo, si bien el material conductor anisotrópico a ser analizado es plástico reforzado con fibra en la forma de realización anterior, el material conductor anisotrópico de acuerdo con la forma de realización de la presente invención no está en particular limitado con la condición de que la conductividad en una primera dirección predeterminada sea diferente de la de otra dirección, y no tiene que ser plástico reforzado con fibra.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método de análisis del campo electromagnético para un material conductor anisotrópico, en el que el método de análisis del campo electromagnético utiliza un método de diferencias finitas en el dominio del tiempo, en el que una parrilla de análisis que tiene un primer lado y un segundo lado que son ortogonales entre sí se utiliza para analizar una propiedad electromagnética de un material conductor anisotrópico en el que la conductividad en una primera dirección es diferente de la conductividad en una segunda dirección, la propiedad electromagnética es una densidad de corriente,
- 10 en el que una o ambas de la primera dirección y la segunda dirección son paralelas a una dirección diferente de cualquiera del primer lado y el segundo lado de la parrilla de análisis, y **caracterizado por que** un componente del campo electromagnético situado en el primer lado y que se extiende a lo largo del segundo lado se calcula con base en los componentes del campo electromagnético que se encuentran en los segundos lados que rodean el componente del campo electromagnético y que se extienden a lo largo de los segundos lados,
- 15 en el que el componente del campo electromagnético se calcula como un valor promedio de los componentes del campo electromagnético.
- 20 2. El método de análisis del campo electromagnético de acuerdo con la Reivindicación 1, en el que en un caso donde el componente del campo electromagnético se encuentra en el primer lado que se extiende a lo largo de un borde periférico del material conductor anisotrópico, el componente del campo electromagnético se calcula con base en cualquiera de los componentes del campo electromagnético incluidos en el material conductor anisotrópico.
- 25 3. El método de análisis del campo electromagnético de acuerdo con cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 2, en el que la parrilla de análisis es una parrilla de análisis cúbica que se extiende a lo largo de tres ejes ortogonales, y en el que los componentes del campo electromagnético comprenden cuatro componentes del campo electromagnético situados respectivamente en cuatro de los segundos lados acoplados al primer lado en dos puntos nodales de los extremos opuestos del primer lado en el que se encuentra el componente del campo electromagnético.
- 30 4. El método de análisis del campo electromagnético de acuerdo con cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 3, en el que la parrilla de análisis es una parrilla de análisis cúbica que se extiende a lo largo de tres ejes ortogonales, en el que un tensor de conductividad obtenido cuando la conductividad definida en un sistema de coordenadas de los tres ejes ortogonales se gira alrededor de un eje ortogonal tanto a la primera dirección como a la segunda dirección se aplica a la expresión de Ampere y posteriormente se discretiza por medio del método de diferencias finitas, y
- 35 en el que cuando el cálculo se lleva a cabo de manera repetida por medio de la aplicación de un método iterativo para la expresión discretizada, un componente del campo electromagnético indefinido incluido en la expresión discretizada se calcula como uno de los componentes del campo electromagnético de los componentes del campo electromagnético.
- 40 5. El método de análisis del campo electromagnético de acuerdo con cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 4, en el que el material conductor anisotrópico es plástico reforzado con fibra en el que el plástico está reforzado con una fibra conductora que se extiende en cualquiera de la primera dirección y la segunda dirección.
- 45

FIG. 1A

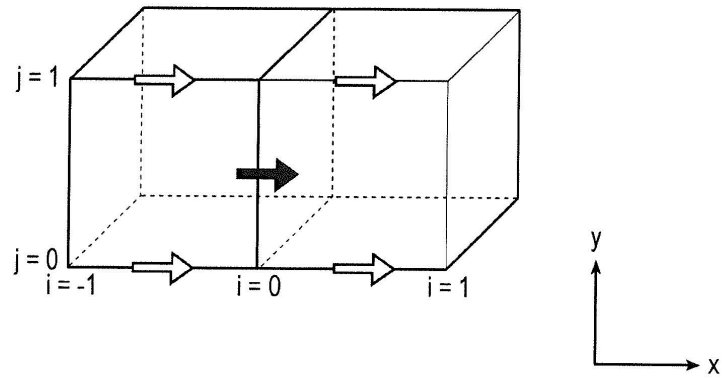


FIG. 1B

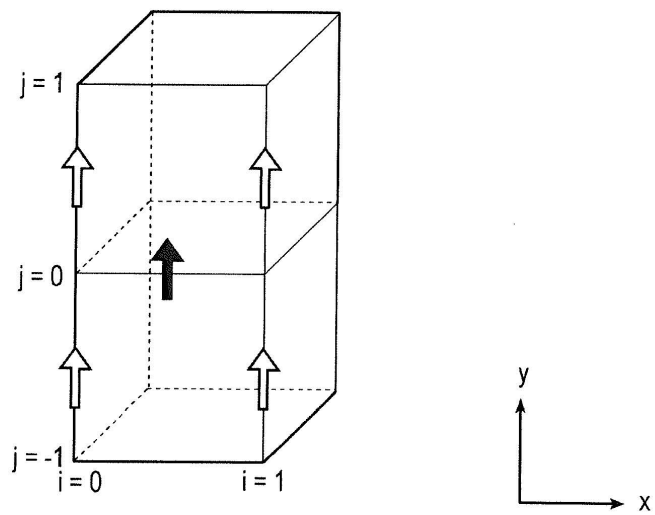


FIG. 2A

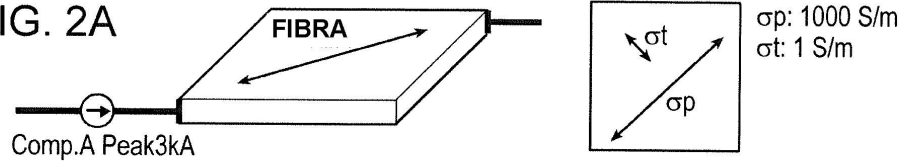


FIG. 2B

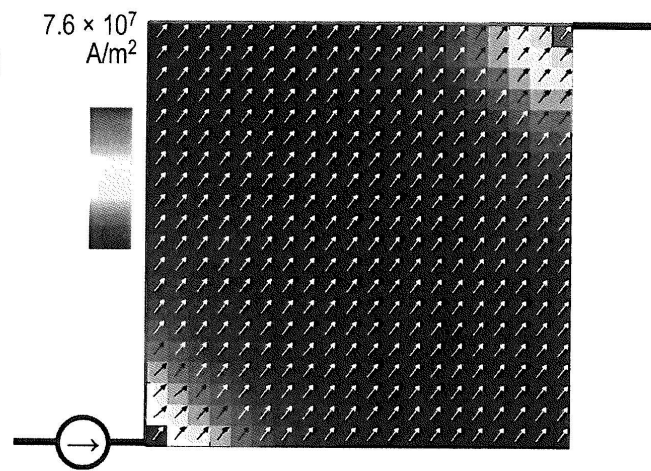


FIG. 2C

