(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 647 014**

(51) Int. CI.:

G06G 7/00 (2006.01)
H01P 1/00 (2006.01)
H03F 3/00 (2006.01)
H02J 15/00 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.02.2006 PCT/US2006/004324**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **31.08.2006 WO06091372**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.02.2006 E 06734529 (8)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.08.2017 EP 1859381**

(54) Título: **Multiplicación de energía eléctrica**

(30) Prioridad:

18.02.2005 US 62035
01.03.2005 US 69476

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.12.2017

(73) Titular/es:

CPG TECHNOLOGIES, LLC (100.0%)
10142 FAIRMOUNT ROAD
NEWBURY, OH 44065, US

(72) Inventor/es:

CORUM, JAMES, F.

(74) Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

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

Multiplicación de energía eléctrica

Referencia cruzada con casos relacionados

La presente solicitud es una solicitud de continuación en parte de la solicitud de patente US Número 11/062.035 presentada el 18 de Febrero de 2005 titulada "ELECTRICAL POWER MULTIPLICATION". Esta solicitud está relacionada también con la solicitud de patente US en trámite junto con la presente titulada "Use of Electrical Power Multiplication for Power Smoothing in Power Distribution" presentada en la fecha misma fecha que la presente y con el número de solicitud 11/062.179.

Antecedentes

La multiplicación de energía puede ser deseable para muchas aplicaciones que requieren considerables recursos de energía que no pueden ser proporcionados de manera económica o física teniendo en cuenta el estado actual de la tecnología de energía. Por ejemplo, se han realizado intentos de usar disposiciones convencionales de volantes de inercia mecánicos y de almacenamiento capacitivo para el almacenamiento de energía y la multiplicación de energía. Sin embargo, dichos enfoques son frecuentemente inadecuados debido al decaimiento en la amplitud y/o en la frecuencia de salida de energía a medida que se extrae o libera la energía almacenada.

La multiplicación de energía puede conseguirse también eléctricamente utilizando una configuración de trayectoria electromagnética para acumular energía eléctrica y aumentar o magnificar la energía de CA real. Dicha tecnología ha sido descrita por Tischer, F. J., Resonance Properties of Ring Circuits, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. MTT-5, 1957, pp. 51-56. El multiplicador de energía sugerido por Tischer permite obtener una multiplicación de energía práctica de 10 a 500 veces el nivel de energía de salida de un generador determinado. La multiplicación de energía se obtiene sin decaimiento apreciable en la amplitud o en la frecuencia.

Sin embargo, el multiplicador de energía sugerido por Tischer funciona a longitudes de onda relativamente cortas donde la circunferencia física del dispositivo es del orden de un número integral de longitudes de onda de espacio libre debido a que la longitud eléctrica de la trayectoria electromagnética sugerida por Tischer es igual a un múltiplo entero de la longitud de onda de una onda progresiva multiplicada en la misma. A dichas longitudes de onda cortas, el tamaño físico de la trayectoria electromagnética es tal que puede ser construida de manera práctica. Sin embargo, la multiplicación de energía usando un enfoque sugerido por Tischer no es práctica a frecuencias de energía más bajas, tales como 60 Hz con longitudes de onda relativamente largas ya que el tamaño de la trayectoria electromagnética sería del orden de varios cientos de kilómetros.

En los sistemas de distribución eléctrica actuales, tales como la red eléctrica de América del Norte, es frecuente el caso en el que los servicios experimentan severos desajustes entre las demandas de carga de pico y promedio. Esto puede resultar en caídas de tensión y apagones en el sistema. Además, se está llegando al límite de la capacidad de la red eléctrica de América del Norte. Por consiguiente, puede darse el caso de que las caídas de tensión y los apagones puedan iniciar reacciones en cadena en la red eléctrica que resulten en una pérdida de energía confiable.

El documento US 3049 679 describe un multiplicador de energía de microondas.

El documento US 4686 407 describe un resonador de anillo de onda progresiva en modo dividido.

El documento US 3171 086 describe un amplificador de onda progresiva y un oscilador con diodos de túnel.

Además, otro problema al que se enfrentan los mercados energéticos es que los puntos de carga intermedios, tales como ciudades, frecuentemente separan las estaciones de generación de electricidad de las cargas eléctricas remotas. Durante los tiempos de carga pesada, la capacidad demandada no puede ser transmitida desde las estaciones de generación de energía a las cargas remotas alrededor de las ciudades intermedias.

Breve descripción de las diversas vistas de los dibujos

La invención puede entenderse con referencia a los dibujos siguientes. Los componentes en los dibujos no están necesariamente a escala. Además, en los dibujos, los números de referencia similares designan partes correspondientes a lo largo de las diversas vistas.

La Fig. 1 es un dibujo de un multiplicador de energía según la técnica anterior;

La Fig. 2 es un dibujo de un acoplador direccional del multiplicador de energía de la Fig. 1;

La Fig. 3 es un dibujo de un multiplicador de energía no práctico con respecto a un mapa geográfico que ilustra un

problema de llevar a la práctica la multiplicación de energía usando un multiplicador de energía ilustrado en la Fig. 1 a frecuencias de energía de longitudes de onda relativamente pequeñas;

La Fig. 4A es un diagrama de bloques de la línea de transmisión de energía desde un generador de energía a una carga eléctrica;

La Fig. 4B es un esquema de una impedancia equivalente por longitud de la línea de transmisión de la Fig. 4;

La Fig. 5 es un dibujo de líneas de transmisión alternativas que podrían ser empleadas como la línea de transmisión de energía de la Fig. 4A y que tienen una impedancia equivalente que puede ser modelada por el esquema de la Fig. 4B;

La Fig. 6A es un esquema de una red T empleada en un multiplicador de energía según una realización de la presente invención;

La Fig. 6B es un esquema de una red π empleada en un multiplicador de energía según una realización de la presente invención;

La Fig. 7A es un esquema de una realización de la red T de la Fig. 6A;

La Fig. 7B es un esquema de una realización de la red π de la Fig. 6B;

La Fig. 8 es un esquema de una red multiplicadora de energía según una realización de la presente invención;

La Fig. 9 es un esquema de un desplazador de fase empleado en el multiplicador de energía de la Fig. 8 según una realización de la presente invención;

La Fig. 10 es un esquema de un acoplador direccional empleado en el multiplicador de energía de la Fig. 8 según una realización de la presente invención;

La Fig. 11 es un esquema de un segundo multiplicador de energía según la realización de la presente invención;

La Fig. 12 es un diagrama esquemático de un multiplicador de energía acoplado a una red de distribución de energía según una realización de la presente invención; y

La Fig. 13 es un diagrama esquemático de múltiples multiplicadores de energía acoplados a una red de distribución de energía según una realización de la presente invención.

Descripción detallada

Con referencia a la Fig. 1, se muestra un multiplicador 100 de energía según la técnica anterior. El multiplicador 100 de energía incluye una guía 103 de ondas multiplicadora de energía y una guía 106 de ondas de lanzamiento. Tanto la guía 103 de ondas multiplicadora de energía como la guía 106 de ondas de lanzamiento son líneas de transmisión convencionales tales como tuberías huecas, cables coaxiales, líneas de transmisión de cables paralelos. La guía 106 de ondas de lanzamiento es acoplada a la guía 103 de ondas multiplicadora de energía usando un acoplador 109 direccional. Un generador 113 de señales electromagnéticas está acoplado a la guía 106 de ondas de lanzamiento y genera una onda 116 progresiva de excitación que es lanzada a la guía 106 de ondas de lanzamiento. El acoplador 109 direccional incluye dos rendijas 119 que están separadas por una distancia D. La distancia D es aproximadamente igual al ¼ de la longitud de onda de la onda 116 progresiva de excitación. De esta manera, el generador 113 de señales electromagnéticas genera la onda 116 progresiva de excitación a una frecuencia predefinida que tiene una longitud de onda λ_w que es aproximadamente cuatro veces la distancia D/λ_w eléctrica. La guía 106 de ondas de lanzamiento termina en una carga 123 acoplada. La longitud total de la guía 103 de ondas multiplicadora de energía es un múltiplo entero de la longitud de onda λ_w de la onda 116 progresiva de excitación. En el caso en el que la guía 103 de ondas multiplicadora de energía sea un círculo cerrado o un anillo cerrado tal como se muestra, la longitud total de la guía de ondas multiplicadora de energía es igual a su circunferencia.

Para hacer funcionar el multiplicador 100 de energía, el generador 113 de señales electromagnéticas genera la onda 116 progresiva de excitación que es lanzada a la guía 106 de ondas de lanzamiento. Cuando la onda 116 progresiva de excitación alcanza el acoplador 109 direccional, una parte de la onda 116 progresiva de excitación se acopla a la guía 103 de ondas multiplicadora de energía, creando de esta manera una onda 126 progresiva que se propaga a lo largo de la guía 103 de ondas multiplicadora de energía. El acoplador 109 direccional acopla la parte de la onda 116 progresiva de excitación a la guía 103 de ondas multiplicadora de energía de manera que la onda 116 progresiva se desplace en una única dirección alrededor de la guía 103 de ondas multiplicadora de energía. Específicamente, debido a que la distancia D entre las rendijas 119 es aproximadamente igual a ¼ de la longitud de onda λ_w de la onda 116 progresiva de excitación, toda la energía acoplada a la guía 103 de ondas multiplicadora de energía se propaga en una única dirección tal como se describirá adicionalmente con referencia a figuras posteriores.

Además, debido a que la longitud de la guía 103 de ondas multiplicadora de energía es un múltiplo entero de la longitud de onda λ_w de la onda 116 progresiva de excitación, la onda 126 progresiva está sincronizada espacialmente con la onda 116 progresiva de excitación. Bajo estas condiciones, la parte de la onda 116 progresiva de excitación que está acoplada de manera continua a la guía 103 de ondas multiplicadora de energía se refuerza o se añade a la onda 126 progresiva. Por consiguiente, la energía de la onda 126 progresiva puede llegar a tener una magnitud bastante grande. Es decir, el flujo de energía del vector de Poynting, ½ Re{ExH*} es bombeado al interior de la guía de ondas multiplicadora de energía, que es una estructura de almacenamiento de energía distribuida, pasiva y lineal. La energía media de la onda 126 progresiva está "distribuida" en el sentido de que está distribuida uniformemente a lo largo de toda la longitud de la guía 103 de ondas multiplicadora de energía.

Una vez iniciada, la acumulación de la energía de la onda 126 progresiva en el interior de la guía 103 de ondas multiplicadora de energía continuará hasta que las pérdidas alrededor de la guía 103 de ondas multiplicadora de energía más la pérdida en la carga 123 acoplada que termina la guía 106 de ondas de lanzamiento sea igual a la energía generada por el generador 113 de señales electromagnéticas. La amplificación M de energía y el acoplamiento C_{oPt} óptimo pueden calcularse de la manera siguiente:

$$M = \frac{1}{(1-A^2)}, \text{ y}$$

$$C_{Opt} = 1 - A^2,$$

donde A es el decaimiento de propagación de campo para un único recorrido de la guía 103 de ondas multiplicadora de energía. La cantidad de CoPt es el valor del acoplamiento para el cual se maximiza la amplificación.

El acoplador direccional tiene la propiedad de que la energía que escapa desde la guía 103 de ondas multiplicadora de energía de nuevo a la guía 106 de ondas de lanzamiento se reduce en magnitud. Además, la fuga de energía de nuevo hacia la guía 106 de ondas de lanzamiento se propaga solo en una única dirección hacia la carga 123 acoplada y, debido a que dicha energía tiene la fase correcta, cancela la energía que se propaga desde el generador 113 de señales electromagnéticas a la carga 123 acoplada. Por consiguiente, cuando la onda 126 progresiva de excitación y la onda 126 progresiva están en fase, la carga 123 acoplada disipa poca o ninguna energía. Los nomogramas convenientes para el diseño de ingeniería de multiplicadores de energía con pérdida que funcionan a frecuencias ultra altas se describen en Tomiyasu, K., "Attenuation in a Resonant Ring Circuit", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. MTT-8, 1960, pp. 253- 254.

Con referencia a continuación a la Fig. 2, se muestra un dibujo de una parte de la guía 103 de ondas multiplicadora de energía y una parte de la guía 106 de ondas de lanzamiento. Se muestra también el acoplador 109 direccional. El dibujo de la Fig. 2 se proporciona para explicar mejor la función del acoplador 109 direccional. Para explicar el funcionamiento del acoplador 109 direccional, la onda 116 progresiva de excitación es lanzada a la guía 106 de ondas de lanzamiento y se aproxima a la primera rendija 119a. Una parte de la onda 116 progresiva de excitación entra en la guía 103 de ondas multiplicadora de energía a través de la primera rendija 119a y se propaga en ambas direcciones en el interior de la guía 103 de ondas multiplicadora de energía como una parte W_1 de onda y una parte W_2 de onda. La parte de la onda 116 progresiva de excitación que no pasa a través de la primera rendija 119a avanza a lo largo de la guía 106 de ondas de lanzamiento hasta que alcanza la segunda rendija 119b. En este punto, una segunda parte de la onda 116 progresiva de excitación entra en la guía 103 de ondas multiplicadora de energía a través de la segunda ranura 109b y se propaga en ambas direcciones en la guía 103 de ondas multiplicadora de energía como una parte W_3 de onda y una parte W_4 de onda. Si la distancia D entre las rendijas es igual a ¼ de la longitud de onda λ_w de la onda 116 progresiva de excitación, tal como se muestra, entonces la parte W_3 de onda cancela la parte W_1 de onda. Además, la parte W_2 de onda refuerza la parte W_4 de onda, resultando de esta manera en la onda 126 progresiva. Como consecuencia de la cancelación de las partes W_1 y W_3 de onda, y del refuerzo de las partes W_2 y W_4 de onda, la onda 126 progresiva avanza en una única dirección alrededor de la guía 126 de ondas multiplicadora de energía. Debido a que la onda 116 progresiva de excitación y la onda 126 progresiva están en fase o están espacialmente sincronizadas, la parte de la onda 116 progresiva de excitación que está acoplada a la guía 103 de ondas multiplicadora de energía se añade continuamente a la onda 126 progresiva, multiplicando de esta manera la energía de la onda 126 progresiva. La energía de la onda 126 progresiva es una energía real. Esto quiere decir que no hay componente reactivo.

Con referencia a continuación a la Fig. 3, se muestra un dibujo de un mapa 133 de los Estados Unidos que ilustra el problema que previene el funcionamiento de los multiplicadores 100 de energía a bajas frecuencias, tales como las frecuencias de alimentación. Supóngase, por ejemplo, que la frecuencia de funcionamiento es de 60 Hz, que representa la

frecuencia del sistema de generación de energía de los Estados Unidos. Suponiendo que la velocidad de la luz es de aproximadamente 300.000 km/s, a 60 Hz, la longitud de onda tanto de la onda 116 progresiva de excitación como de la onda 126 progresiva se calcula como:

$$\lambda_w = \frac{c}{f} \approx \frac{300.000 \text{ km/seg}}{60 \text{ Hz}} \approx 5.000 \text{ km.}$$

De esta manera, la longitud o la circunferencia de una guía 100a de ondas multiplicadora de energía hipotética tendría que ser de aproximadamente 5.000 kilómetros. Por consiguiente, una línea 101 de transmisión hipotética correspondiente empleada en la guía 100a de ondas multiplicadora de energía sería de aproximadamente 5.000 kilómetros de longitud. Obviamente, debido al tamaño implicado, la creación de dicha guía 100a de ondas multiplicadora de energía no es físicamente práctica y su costo es prohibitivo.

Volviendo a continuación a la Fig. 4A, se hace hincapié en una discusión acerca de las líneas de transmisión de energía. En la Fig. 4A, un generador 153 de energía está acoplado eléctricamente a una carga 156 eléctrica por una línea 159 de transmisión de energía. Dicha una línea 159 de transmisión puede emplearse tradicionalmente, por ejemplo, para distribuir energía a hogares y negocios, tal como pueden apreciar las personas con conocimientos ordinarios en la materia.

Con referencia a continuación a la Fig. 4B, se muestra un circuito 163 equivalente que ilustra la impedancia equivalente por unidad de longitud de la línea 159 de transmisión (Fig. 4A). Específicamente, cada longitud unidad de la línea 159 de transmisión incluye una inductancia L_T en serie y una resistencia R_T en serie. Además, entre los conductores de la línea 159 de transmisión hay una capacitancia C_T en paralelo y una conductancia G_T en paralelo. Por consiguiente, la impedancia equivalente por unidad de longitud de la línea 159 de transmisión puede expresarse en términos de una inductancia L_T en serie, una resistencia R_T en serie, una capacitancia C_T en paralelo y una resistencia R_T en paralelo.

El circuito 163 equivalente refleja el hecho de que las líneas 159 de transmisión dirigen la propagación de la energía del campo. La energía del campo que se propaga a lo largo de una línea 159 de transmisión es almacenada en los campos magnéticos y en los campos eléctricos asociados con la estructura de la propia línea 159 de transmisión. Modo a modo, la energía del campo magnético almacenada en una línea 159 de transmisión puede equipararse con la energía de campo magnético almacenada en una inductancia distribuida equivalente. Además, la energía almacenada en los campos eléctricos de la línea puede equipararse con la energía almacenada en una capacitancia distribuida equivalente. Las pérdidas de energía de campo por unidad de longitud de la línea 159 de transmisión pueden equipararse con las pérdidas conductivas en paralelo y resistivas en serie equivalentes por unidad de longitud.

Con referencia a continuación a la Fig. 5, se muestran varias realizaciones de la línea 159 de transmisión (Fig. 4A) para las cuales la impedancia equivalente puede expresarse usando el circuito 163 equivalente (Fig. 4B) descrito anteriormente. Por ejemplo, la línea 159 de transmisión puede comprender, por ejemplo, una línea 159a de transmisión paralela que incluye conductores 166 paralelos. De manera alternativa, la línea 159 de transmisión puede comprender una línea 159b de transmisión coaxial que incluye un conductor 169 interno y un conductor 173 externo. En todavía otra alternativa, la línea 159 de transmisión puede comprender una estructura 159c eléctrica que incluye un conductor 176 de una geometría predefinida situado con respecto a un plano 179 de tierra. De manera alternativa, el conductor 176 puede estar situado con respecto a un segundo conductor de este tipo en lugar del plano 179 de tierra. La geometría predefinida del conductor 176 puede ser, por ejemplo, una hélice u otra geometría. En todavía otra alternativa, la línea 159 de transmisión puede comprender una estructura 159d eléctrica que comprende un único conductor 181 en forma de hélice u otra forma apropiada. Además, la línea 159 de transmisión puede comprender otros tipos de líneas de transmisión y estructuras eléctricas tales como, por ejemplo, pistas conductoras (”striplines”), cables de fibra óptica, etc., tal como pueden apreciar las personas con conocimientos ordinarios en la materia.

Suponiendo que fuera realmente posible crear el multiplicador 100a de energía a frecuencias de alimentación tales como 60 Hz, dicho multiplicador 100a de energía implicaría el uso de un cable de transmisión en una de las configuraciones descritas anteriormente. En este sentido, la impedancia de dicho cable de transmisión puede ser calculada y la impedancia equivalente en términos de la inductancia L_T en serie (Fig. 4B), la resistencia R_T en serie (Fig. 4B), la capacitancia C_T en paralelo (Fig.4B) y la conductancia G_T en paralelo (Fig. 4B) pueden ser determinadas.

Con referencia a las Figs. 6A y 6B, se muestran una red 183 T y una red 186 π que pueden ser empleadas según las diversas realizaciones de la presente invención. En este sentido, la red 183 T incluye la impedancia Z_1 en serie y la impedancia Z_2 en serie. La red 183 T incluye también la impedancia Z_3 en paralelo. La impedancia Z_0 característica de una red 183 T simétrica mostrada puede ser calculada de la manera siguiente:

$$Z_0 = \sqrt{Z_1\left(Z_1 + 2Z_3\right)}.$$

La red 186 π incluye impedancias Z_A y Z_B en paralelo. La red 186 π incluye también una impedancia Z_C en serie o media. La impedancia Z_0 característica de una red 186 π simétrica puede ser calculada de la manera siguiente:

$$Z_0 = Z_A \sqrt{\frac{Z_C}{(Z_C + 2Z_A)}}.$$

Para una descripción adicional tanto de la red 183 T como de la red 186 π, se hace referencia a Terman, F.E., Radio Engineering Handbook. McGraw-Hill, 1943, págs. 172-178, 191-215, que se incorpora a la presente memoria por referencia en su totalidad. La red 183 T y/o la red 186 π pueden emplearse, por ejemplo, en la construcción de un multiplicador de energía según diversas realizaciones de la presente invención, tal como se describirá. En particular, la impedancia representada por la red 183 T y/o la red 186 π son formas del circuito 163 equivalente (Fig. 4B).

Con referencia a continuación a las Figs. 7A y 7B, se muestran un esquema ejemplar de una red 183a T y una red 186a π que pueden ser empleadas en diversas realizaciones de la presente invención. En este sentido, la red 183a T incluye una inductancia L en serie que se muestra como dos inductancias L/2 en serie separadas. Además, la red 183a T incluye también una capacitancia C en paralelo. La red 183a T incluye una serie de resistencias R de pérdida y una conductancia G en paralelo que son inherentes a los conductores que componen las inductancias L/2, la capacitancia C y el cable eléctrico que conecta dichos componentes.

La red 186a π incluye una inductancia L en serie y capacitancias C/2 en paralelo. Para múltiples redes 186a π que están acopladas entre sí en serie, las capacitancias C/2 en paralelo adyacentes pueden ser sumadas para convertirse en la capacitancia C. Las redes 186a π incluyen también una resistencia R en serie y una conductancia G en paralelo que son inherentes a los conductores que componen la inductancia L, las capacitancias C/2 y el cable eléctrico que conecta dichos componentes. La red 183a T y la red 186a π ilustran realizaciones más particulares de las redes 183 T o las redes 186 π.

Con referencia a continuación a la Fig. 8, se muestra un ejemplo de un multiplicador 200 de energía según una realización de la presente invención. El multiplicador 200 de energía incluye una red 203 multiplicadora de energía y una red 206 de lanzamiento. La red 206 de lanzamiento incluye también un acoplador 209 direccional que acopla la red 206 de lanzamiento a la red 203 multiplicadora de energía. Una fuente 213 de energía está acoplada a la red 206 de lanzamiento. Además, la red 206 de lanzamiento termina en una carga R_L acoplada.

En una realización, la red 203 multiplicadora de energía es un circuito inhibidor de velocidad, conectado de manera múltiple, construido a partir de una serie de elementos 216 concentrados. Tal como se contempla en la presente memoria, el término "red" se define como una estructura interconectada de elementos eléctricos. La expresión "conectado de manera múltiple" es una expresión matemática que describe la existencia de una trayectoria cerrada en un resonador, guía de ondas u otra estructura eléctrica que no se puede reducir a un punto sin que parte de la trayectoria cerrada pase por regiones que son externas a los límites geométricos del resonador, la guía de onda u otra trayectoria eléctrica. La red 203 multiplicadora de energía es “inhibidora de velocidad” ya que la estructura eléctrica de la red 203 multiplicadora de energía resulta en una velocidad de propagación reducida de una onda electromagnética a través de la red 203 multiplicadora de energía con relación a la velocidad de una onda electromagnética a través del espacio vacío, que es la velocidad de la luz

Además, el término "concentrado" se define en la presente memoria como efectivamente concentrado en una única ubicación. De esta manera, la expresión "elementos concentrados" se refiere a elementos eléctricos concentrados, discretos, de dos terminales, tales como capacitancia, inductancias, resistencia y/o conductancia. De esta manera, los elementos concentrados, tal como se describe en la presente memoria, pueden comprender inductores, condensadores o resistencias discretos. Además, tal como se contempla en la presente memoria, los elementos concentrados pueden comprender también diodos, transistores y otros semiconductores que pueden describirse, por ejemplo, como resistencias o conductores no lineales que tienen una resistencia o una conductancia que está controlada por la polaridad de los voltajes o las corrientes aplicados, etc. Además, los elementos concentrados pueden comprender también condensadores, inductancias, resistencias o conductancias inherentes de diversas estructuras eléctricas tales como hélices, placas paralelas u otra estructura, tal como se describirá más adelante. De manera similar a la red 203 multiplicadora de energía, el acoplador 209 direccional está construido también usando elementos concentrados.

La red 203 multiplicadora de energía es un circuito inhibidor de velocidad que resulta en una velocidad de propagación más lenta de una perturbación eléctrica tal como una onda progresiva. En este sentido, la red 203 multiplicadora de energía tiene una longitud eléctrica que es igual a un múltiplo entero de la longitud de onda de la frecuencia de funcionamiento de la fuente 213 de energía. Debido a la naturaleza inhibidora de velocidad de la red 203 multiplicadora de energía, su tamaño es bastante compacto en comparación con la longitud de onda de la frecuencia de funcionamiento de la fuente 213 de energía. Además, el acoplador 209 direccional causa un desplazamiento de fase que es igual a un cuarto

de la longitud de una onda progresiva de excitación generada por la fuente 213 de energía a la frecuencia de funcionamiento, tal como se describirá más adelante.

En una realización, la red 203 multiplicadora de energía está construida a partir de elementos 216 concentrados tales como, por ejemplo, las inductancias L y las capacitancias C tal como se muestra en la Fig. 8. En una realización, las inductancias L pueden ser inductores reales y las capacitancias C pueden ser condensadores reales que están disponibles comercialmente o pueden construirse según sea necesario. Por ejemplo, la red 203 multiplicadora de energía puede ser caracterizada como un anillo de redes 183a T (Fig. 7A) o redes 186a π (Fig. 7B) interconectadas, aunque las redes 183a T (Fig. 7A) o las redes 186a π (Fig. 7B) interconectadas pueden estar dispuestas en una estructura conectada de manera múltiple distinta de un anillo. Cada una de las redes 183a T o las redes 186a π puede ser considerada una "sección" de la red 203 multiplicadora de energía. En este sentido, suponiendo que la red 203 multiplicadora de energía comprende un número de redes 183a T, entonces cada inductancia L puede ser dividida en dos inductancias L/2 en serie que constituyen las inductancias L/2 en serie, tal como se describe en la red 183a T (Fig. 7A). De manera similar, suponiendo que la red 203 multiplicadora de energía comprende un número de redes 186a π, cada capacitancia C puede ser considerada también como un par de capacitancias C/2 en paralelo, donde cada una de las capacitancias C/2 en paralelo constituye una de las capacitancias C/2 en paralelo de la red 186a π (Fig. 7B). Independientemente de si se usan redes 183a T o redes 186a π para crear las secciones de la red 203 multiplicadora de energía, cada una de las redes 183a o 186a resulta en un desplazamiento Φ_s de fase predefinido.

Suponiendo que se vayan a emplear redes 183a T o redes 186a π para construir la red 203 multiplicadora de energía a cierta frecuencia f y cierto factor Q de calidad, entonces los valores para los elementos 216 concentrados tales como las inductancias L y las capacitancias C u otros elementos concentrados están determinados. El factor Q de calidad se define convencionalmente como

$$Q = {}^{f}\!/_{\Delta f}\,.$$

Dichos valores pueden ser calculados a partir de la impedancia Z_0 característica conocida y la constante γ de propagación compleja de la línea de transmisión de una parte predeterminada de la línea 101 de transmisión hipotética (Fig. 3) del multiplicador 100a de energía hipotético. En este sentido, la impedancia Z_0 característica y la constante γ de propagación compleja de la línea de transmisión pueden ser calculadas para una longitud unidad predefinida de la línea 101 de transmisión hipotética de la manera siguiente:

$$Z = R_T + j\omega L_T\,,$$

$$Y = G_T + j\omega C_T\,,$$

$$Z_o = \sqrt{Z/Y} = \sqrt{(R_T + j\omega L_T)/(G_T + j\omega C_T)}\,,\ \text{y}$$

$$\gamma = \sqrt{ZY} = \sqrt{(R_T + j\omega L_T)(G_T + j\omega C_T)}\,,$$

donde Z es la impedancia en serie por longitud unidad de la línea de transmisión, Y es la admitancia en paralelo por longitud unidad de la línea de transmisión. En el caso de baja pérdida (es decir $R_T \approx 0$ y $G_T \approx 0$), la impedancia característica se reduce a

$$Z_o = \sqrt{L_T / C_T}\,.$$

Además, la velocidad de propagación puede ser calculada como

$$v = \frac{1}{\sqrt{L_T C_T}}\,.$$

Para determinar los valores de R_T, L_T, G_T y C_T para una sección determinada de la línea 159 de transmisión, pueden consultarse diversas referencias que proporcionan dicha información, tales como, por ejemplo, Terman, FE, Radio Engineering Handbook, McGraw-Hill, 1943, pp. 172-178, 191-215, u otras referencias, tal como puede apreciarse.

Una vez conocida la impedancia Z_0 característica para una parte predefinida de la línea 101 de transmisión hipotética,

entonces la longitud θ eléctrica compleja de la parte predefinida de la línea 101 de transmisión hipotética se calcula como

$$\theta = \gamma l$$

donde l es la longitud física de la parte predefinida de la línea 101 de transmisión hipotética. Dadas la impedancia Z_0 característica, la constante γ de propagación compleja de la línea de transmisión y la longitud θ eléctrica de la parte predefinida de la línea 101 de transmisión hipotética, las impedancias Z_1 y Z_2 en serie, y la impedancia Z_3 en paralelo de la red 183 T (Fig. 6A) pueden ser calculadas de la manera siguiente:

$$Z_1 = Z_2 = Z_o \, \mathrm{tgh}(\theta/2), \text{ y}$$

$$Z_3 = Z_o / \mathrm{senh}(\theta).$$

De manera alternativa, las impedancias Z_A y Z_B en paralelo, y la impedancia Z_C media de la red 186 π pueden ser calculadas de la manera siguiente:

$$Z_A = Z_B = Z_o \coth(\theta/2), \text{ y}$$

$$Z_C = Z_o \, \mathrm{senh}(\theta).$$

Una vez conocidas las impedancias Z_1 y Z_2 en serie, y la impedancia Z_3 en paralelo de la red 183 T, o las impedancias Z_A y Z_B en paralelo, y la impedancia Z_C media de la red 186 π, entonces pueden determinarse los valores correspondientes para L y C. Suponiendo, por ejemplo, que se han calculado las impedancias Z_A y Z_B en paralelo, y la impedancia Z_C media de la red 186 π, entonces la inductancia L asociada con la impedancia Z_C media puede ser calculada a partir de las mismas, donde

$$Z_C = r + j\omega L.$$

Además, la capacitancia C asociada a las impedancias Z_A y Z_B en paralelo puede ser calculada, donde

$$Z_A = Z_B = \frac{1}{j\omega C}.$$

Puede darse un caso en el que L y C sean demasiado grandes para ser representados de manera práctica en forma de un elemento 216 concentrado. Si es el caso, entonces puede realizarse un cálculo inverso o un mapeo inverso usando valores conocidos para L y C para determinar qué parte de la línea 101 de transmisión hipotética puede ser representada mediante una red 183 T o una red 186 π determinadas. En este sentido, puede determinarse cuántas redes 183 T o redes 186 π pueden ser empleadas necesariamente en una red 203 multiplicadora de energía determinada. En este sentido, pueden elegirse valores para L y C en vista de los valores calculados para L y C identificados anteriormente.

Suponiendo que las impedancias Z_1 y Z_2 en serie, y la impedancia Z_3 en paralelo de la red 183 T se calculan a partir de valores predeterminados para L y C, entonces la impedancia Z_0 característica y la constante γ de propagación compleja de la línea de transmisión pueden ser calculadas de la manera siguiente:

$$Z_o = \sqrt{Z_1(Z_1 + 2Z_3)}, \text{ y}$$

$$\gamma = \mathrm{ArcTg}\left(\frac{\sqrt{Z_1(Z_1 + 2Z_3)}}{Z_1 + Z_3}\right).$$

De manera alternativa, suponiendo que las impedancias Z_A y Z_B en paralelo, y la impedancia Z_C media de la red 186 π se calculan a partir de valores predeterminados para L y C, entonces la impedancia Z_0 característica y la constante γ de propagación compleja de la línea de transmisión v pueden ser calculadas como sigue:

$$Z_o = Z_A \sqrt{\frac{Z_C}{Z_C + 2Z_A}}, \text{ y}$$

$$\gamma = \text{ArcTg}\left(\frac{\sqrt{Z_C(Z_C + 2Z_A)}}{Z_A + Z_C} \right).$$

Una vez conocida la longitud l de la línea 101 de transmisión hipotética que está representada por una red 183 T o una red 186 π específica, entonces puede determinarse cuántas redes 183 T o redes 186 π similares son necesarias para simular la impedancia de toda la línea 101 de transmisión hipotética. De esta manera, realizando los cálculos hacia delante y hacia atrás descritos anteriormente, pueden determinarse los valores generales para las inductancias L y las capacitancias C de la red 203 multiplicadora de energía.

Además, la red 203 multiplicadora de energía comprende además un desplazador 219 de fase. El desplazador 219 de fase comprende un circuito construido a partir de elementos concentrados que se combina en serie con una parte del acoplador 209 direccional para conformar la inductancia L de la sección específica dentro de la cual se ubica el acoplador 209 direccional.

La red 203 multiplicadora de energía incluye también un desviador 223 que acopla la red 203 multiplicadora de energía a una carga 226. El desviador 223 se define en la presente memoria como un elemento o circuito eléctrico que puede ser empleado para desviar o redirigir la totalidad o una parte de una onda progresiva desde la red 203 multiplicadora de energía a la carga 226. En este sentido, el desviador 223 puede comprender, por ejemplo, un interruptor, relé, interruptor de estado sólido, interruptor de plasma u otro dispositivo con capacidad similar. El desviador 223 puede ser también un circuito que presenta una ventana eléctrica que es polarizada usando una tensión o una corriente de control predefinida para desviar la energía dentro de una onda progresiva a la carga 226, dependiendo del estado de la tensión o la corriente de control, etc.

Durante el funcionamiento, la fuente 213 de energía se emplea para lanzar una onda progresiva de excitación en la red 206 de lanzamiento. La onda progresiva de excitación puede ser, por ejemplo, una onda sinusoidal u otra forma apropiada. El acoplador 209 direccional acopla al menos una parte de la onda progresiva de excitación desde la red 206 de lanzamiento a la red 203 multiplicadora de energía, resultando en una onda progresiva que se propaga dentro de la red 203 multiplicadora de energía. Debido a que la longitud eléctrica de la red 203 multiplicadora de energía es un múltiplo entero de la longitud de onda de la fuente 213 de energía y que el acoplador 209 direccional es igual a ¼ de la longitud de onda de la fuente 213 de energía, entonces la onda progresiva que se propaga dentro de la red 203 multiplicadora de energía es reforzada de manera continua por la parte de la onda progresiva de excitación acoplada a la red 203 multiplicadora de energía. Además, la onda progresiva se propaga en una sola dirección alrededor de la red 203 multiplicadora de energía. Esto resulta en una ampliación M de energía de la energía de la onda progresiva por un factor predefinido que puede ser muchas veces mayor que la energía de la fuente 213 de energía, dependiendo de las pérdidas y las tolerancias de los elementos 216 concentrados y otros factores.

Tanto la onda progresiva de excitación lanzada a la red 206 de lanzamiento como la onda progresiva que se propaga alrededor de la red 203 multiplicadora de energía pueden ser señales de energía de CA tales como señales de energía eléctrica generadas a 50 Hz, 60 Hz, 400 Hz o cualquier otra frecuencia de energía que pueda encontrarse en los sistemas de generación eléctrica en los Estados Unidos y en países de todo el mundo. Sin embargo, en cualquier caso, la frecuencia de la onda progresiva de excitación, la onda progresiva y la fuente 213 de energía pueden ser cualquier frecuencia posible, aunque típicamente corresponden a frecuencias con longitudes de onda para las cuales la longitud de trayectoria cerrada de la red 203 multiplicadora de energía es aproximadamente 1/10 de la longitud de onda o menos de la onda progresiva.

Cuando la onda progresiva de excitación se aplica a la red 206 de lanzamiento, la energía de la onda progresiva aumenta continuamente con el tiempo hasta que alcanza una energía máxima. La energía máxima se alcanza cuando las pérdidas en la red 203 multiplicadora de energía más las pérdidas en la carga R_L acoplada son iguales a la energía suministrada por la fuente 213 de energía. Cuando se alcanza la energía máxima, el desviador 223 puede ser accionado para dirigir la onda progresiva desde la red 203 multiplicadora de energía a la carga 226 eléctrica. En una situación típica, pueden requerirse hasta aproximadamente una docena de ciclos para alcanzar la energía máxima en la red 203 multiplicadora de energía, aunque es posible que se alcance la energía máxima en más o menos ciclos. De manera alternativa, el desviador 223 puede ser accionado para dirigir la onda progresiva desde la red 203 multiplicadora de energía en cualquier momento que se considere apropiado tal como, por ejemplo, cuando la energía acumulada en la red 203 multiplicadora de energía alcanza cualquier valor umbral predefinido, etc.

El multiplicador 200 de energía proporciona ventajas significativas en el sentido de que facilita la multiplicación de energía real a frecuencias de energía más bajas, tales como las frecuencias de funcionamiento de los sistemas de distribución de

energía eléctrica de todo el mundo que funcionan, por ejemplo, a 50 Hz, 60 Hz, 400 Hz u otras frecuencias bajas. La naturaleza inhibidora de velocidad de la red 203 multiplicadora de energía facilita la creación de un multiplicador 200 de energía que puede funcionar a frecuencias de generación de energía tan bajas con una reducción de tamaño sorprendente. Es decir, donde la teoría anterior enseñaba que los multiplicadores de energía que funcionan a las frecuencias de generación de energía convencionales requerirían una guía de ondas hipotética que se extendería a lo largo de miles de kilómetros tal como se ha descrito con referencia a la Fig. 3, ahora puede crearse en un tamaño compacto que puede alojarse, por ejemplo, en una habitación pequeña.

La velocidad de propagación de la onda progresiva a través de la red 203 multiplicadora de energía con relación a la velocidad de una onda progresiva a través del espacio vacío se describe en la presente memoria como el factor de velocidad. La naturaleza inhibidora de velocidad de la red 203 multiplicadora de energía permite factores de velocidad que son del orden de 1/1.000.000, aunque pueden conseguirse factores de velocidad todavía más pequeños.

Además, el multiplicador 200 de energía puede incluir además un número de redes 206 de lanzamiento, en el que cada red 206 de lanzamiento está acoplada a la red 203 multiplicadora de energía mediante un acoplador 209 direccional. Dicha configuración facilitaría un aumento correspondiente en la velocidad a la que la energía de la onda progresiva se acumula durante el funcionamiento del multiplicador 200 de energía.

En una realización alternativa, la onda progresiva puede ser una onda solitaria que se propaga alrededor de la red 203 multiplicadora de energía. Con el fin de propagar una onda solitaria alrededor de la red 203 multiplicadora de energía, la red 203 multiplicadora de energía está construida de manera que incluya elementos no lineales tales como, por ejemplo, diodos, transistores u otros componentes activos de manera que sea no lineal y dispersiva. De esta manera, los componentes no lineales se definen aquí como componentes que proporcionan una salida que tiene una amplitud que no es linealmente proporcional a la entrada, tal como pueden apreciar las personas con conocimientos ordinarios en la materia. Mediante la construcción de la red 203 multiplicadora de energía a partir de una red adecuada de elementos no lineales y/o una combinación de elementos lineales y no lineales, puede propagarse una onda solitaria alrededor de la red 203 multiplicadora de energía. En este sentido, la fuente 213 de energía sería un generador de impulsos que genera y lanza una onda progresiva de excitación a la red 206 de lanzamiento. Para conseguir la multiplicación de energía, una onda progresiva de excitación solitaria tendría que estar espacialmente sincronizada con la onda progresiva solitaria. Además, la red 206 de lanzamiento, el acoplador 209 direccional y el desplazador 219 de fase pueden construirse para incluir elementos que son de naturaleza no lineal y dispersiva para facilitar la propagación de las ondas solitarias a través de la misma.

Debería apreciarse que, a medida que aumenta la ganancia de la red 203 multiplicadora de energía, su factor Q de calidad aumenta y su ancho BW de banda se estrecha alrededor de la frecuencia de funcionamiento. En una realización, esta puede ser una característica deseable para un sistema estrictamente monocromático. Si se desean anchos BW de banda más amplios, el ancho BW de banda eléctrico de la red 203 multiplicadora de energía puede ser adaptado a la aplicación específica. Por ejemplo, pueden construirse redes 203 multiplicadoras de energía de baja pérdida con bandas de paso más amplias y de formas controladas siguiendo diversos diseños de filtro eléctrico. Véase, por ejemplo, Matthaei, G. L., L. Young y E. M. T. Jones, Microwave Filters, Impedance Matching Networks, and Coupling Structures, McGraw-Hill, 1964; y Fano, R.M., Theoretical Limitations on Broadband Matching of Arbitrary Impedances, Journal of the Franklin Institute, vol. 249, 1950, pp. 53-83 y 129-155.

En otra realización, el multiplicador 200 de energía descrito anteriormente puede construirse también incorporando las denominadas técnicas de diseño de "Filtro de seguimiento" de manera que la banda de paso eléctrica del multiplicador 200 de energía pueda ser controlada dinámica y automáticamente para seguir de manera coherente las variaciones de frecuencia y de fase de la fuente 213 de energía mientras se mantienen las propiedades operativas deseadas descritas anteriormente. En la implementación de un multiplicador 200 de energía con una banda de paso eléctrica dinámica, la frecuencia de la fuente 213 de energía es controlada y comparada con la frecuencia de resonancia de la red 203 multiplicadora de energía. Puede generarse una señal de error a partir de dicha comparación y puede ser empleada en un circuito de retroalimentación para modificar dinámicamente los parámetros de los componentes del anillo tales como los elementos concentrados de la red 203 multiplicadora de energía para sintonizarla con las variaciones espectrales de la fuente 213 de energía. En ese caso, los elementos concentrados descritos anteriormente pueden ser paramétricamente dinámicos con parámetros variables tal como puede apreciarse.

Con referencia a continuación a la Fig. 9, se muestra un esquema que proporciona un ejemplo del desplazador 219 de fase según un aspecto de la presente invención. El desplazador 219 de fase comprende una red 183a T (Fig. 7A), aunque también puede emplearse una red 186a π. En este sentido, el desplazador 219 de fase incluye inductancias L_T en serie y una capacitancia C_T en paralelo. En este sentido, el desplazador 219 de fase está construido a partir de elementos concentrados como parte de la red 203 multiplicadora de energía.

Las inductancias L_T en serie y la capacitancia C_T en paralelo se especifican de manera que resulten en un desplazamiento Φ_s de fase. Las inductancias L_T en serie y/o la capacitancia C_T en paralelo (suponiendo que se emplea una red 186a T)

pueden ser variables para permitir que el desplazamiento Φ_s de fase sea ajustado según sea necesario para compensar cualquier imprecisión en los desplazamientos Φ_s de fase de cada sección y en el desplazamiento θ de fase del acoplador 209 direccional. Esto se hace para garantizar que el desplazamiento de fase total presentado por la red 203 multiplicadora de energía sea un múltiplo entero de 360 grados para la longitud de onda de la fuente 213 de energía. A continuación, se describirán los cálculos específicos que se realizan para determinar los valores de las inductancias L_T y la capacitancia C_T en paralelo.

Con referencia a la Fig. 10, se muestra un esquema que ilustra un ejemplo del acoplador 209 direccional según un aspecto de la presente invención. El acoplador 209 direccional comprende una serie de elementos concentrados. Dicho acoplador 209 direccional garantiza que la onda progresiva se propaga en una única dirección a lo largo de la red 203 multiplicadora de energía y que se consiga el refuerzo de la onda progresiva con la parte de la onda progresiva de excitación que se propaga a través de la red 206 de lanzamiento.

Con la descripción anterior de la red 203 multiplicadora de energía, el acoplador 209 direccional y el desplazador 219 de fase, el desplazamiento de fase total presentado por la red 203 multiplicadora de energía puede determinarse de la manera siguiente:

$$\phi_{PMW} = \phi_s(N-1) + \phi + \theta,$$

donde N es igual al número de secciones en la red 203 multiplicadora de energía.

Además, el desviador (Fig. 8) puede ser construido de manera similar al acoplador 209 direccional en el que los valores de las capacitancias de acoplamiento se usan para controlar la velocidad a la que la energía sale de la red 203 multiplicadora de energía.

Con referencia a continuación a la Fig. 11, se muestra un esquema de un multiplicador 250 de energía según otra realización de la presente invención. El multiplicador 250 de energía incluye una red 253 multiplicadora de energía que está construida a partir de una hélice toroidal tal como se muestra, o cualquiera de sus variantes que comprenden hélices de mano izquierda, de mano derecha o superposiciones de hélices de mano izquierda y de mano derecha tal como describen la patente canadiense 1.186.049, la patente US 4.622.558 y la patente US 4.751.515, cada una de estas referencias presentada por James F. Corum, incorporándose el texto completo de cada una de estas referencias como referencia en la presente memoria. En este sentido, la hélice toroidal incluye las inductancias L (Fig. 8) en virtud de su construcción. Además, la impedancia presentada por la hélice toroidal incluye capacitancias que pueden ser apreciadas por las personas con conocimientos ordinarios en la materia (véase Krause, John D., Antennas, McGraw-Hill, 1ª edición, 1950, Fig. 7.2). El multiplicador 250 de energía incluye una red 256 de lanzamiento que está acoplada a la red 253 multiplicadora de energía mediante un acoplador 259 direccional. El multiplicador 250 de energía incluye también el desviador 223 que acopla una salida desde el multiplicador 250 de energía a una carga 226 tal como se muestra. La fuente 213 de energía está acoplada a la red 256 de lanzamiento y lanza una onda progresiva de excitación a la red 256 de lanzamiento de una manera similar a la descrita con referencia al multiplicador 200 de energía. De manera similar, la red 256 de lanzamiento termina en una carga R_M acoplada.

El acoplador 259 direccional puede ser, por ejemplo, una sección de la hélice o incluso una red 186 π (Fig. 7B) tal como se muestra. El acoplador 259 direccional impone un desplazamiento de fase de ¼ de la longitud de onda de la onda progresiva de excitación de una manera similar a la descrita anteriormente.

El funcionamiento del multiplicador 250 de energía es sustancialmente similar al que se ha descrito con referencia al multiplicador 200 de energía de la Fig. 8. El multiplicador 250 de energía ilustra el hecho de que la red 253 multiplicadora de energía puede comprender una o más estructuras eléctricas tales como una hélice toroidal, dos o más hélices entrecruzadas, una hélice arrollada en direcciones opuestas u otras estructuras eléctricas que incluyen capacitancias e inductancias inherentes que actúan como los elementos 216 concentrados (Fig. 8) tales como las inductancias L (Fig. 8) y las capacitancias C (Fig. 8).

Con referencia de nuevo a la Fig. 8, una vez determinados los valores para las inductancias L y las capacitancias C para cada sección del multiplicador 200 de energía que comprende redes 183 T (Fig. 6A) o redes 186 π (Fig. 6B), a continuación, puede determinarse la amplificación de energía real que puede conseguirse mediante el multiplicador 200 de energía resultante, dados los valores para los elementos concentrados (es decir, las capacitancias C en paralelo y las inductancias L en serie). Específicamente, los elementos concentrados se especifican para conseguir un desplazamiento de fase predefinido para cada sección a la frecuencia de funcionamiento predefinida.

A continuación, se describe la secuencia de cálculos que se realizan para determinar los valores para los elementos 216 concentrados, tales como las capacitancias C y las inductancias L del multiplicador 200 de energía. En los cálculos siguientes, se supone que cada sección de la red 203 multiplicadora de energía comprende redes 186 π (Fig. 6B). Para

comenzar, se especifica la frecuencia f de funcionamiento del multiplicador 200 de energía. Además, se especifican tanto la inductancia L como la capacitancia C de cada sección de la red 203 multiplicadora de energía en base a los valores para dichos elementos, identificados anteriormente. Además, se especifica un factor Q de calidad para las inductancias L de cada sección de la red 203 multiplicadora de energía. La frecuencia, en términos de radianes/s, se calcula como

$$\omega = 2\pi f \text{ radianes/s.}$$

Además, la resistencia en cada una de las inductancias L se calcula como

$$r = \frac{\omega L}{Q} \text{ Ohmios.}$$

A continuación, la impedancia Z_C se calcula de la manera siguiente:

$$Z_C = r + i\omega L \text{ Ohmios,}$$

donde "i" representa √-1 tal como conocen las personas con conocimientos ordinarios en la materia. Dadas las capacitancias C especificadas anteriormente, las impedancias Z_A y Z_B en paralelo se calculan de la manera siguiente:

$$Z_A = Z_B = \frac{1}{i\omega C} \text{ Ohmios.}$$

A continuación, la impedancia Z_0 característica se calcula de la manera siguiente:

$$Z_0 = Z_A \sqrt{\frac{Z_C}{(Z_C + 2Z_A)}} \text{ Ohmios.}$$

La impedancia característica se define como la relación del voltaje de la onda de avance con respecto a la corriente de la onda de avance. En este sentido, puede realizarse una medición física de la impedancia característica de cada sección y puede ser comparada con la impedancia Z_0 característica calculada para verificar la precisión de la misma.

Además, la constante γ de propagación para cada sección se calcula de la manera siguiente:

$$\gamma = \text{a tgh} \left[\frac{\sqrt{Z_C(Z_C + 2Z_A)}}{(Z_A + Z_C)} \right].$$

La constante α de atenuación para cada sección y la constante β de fase para cada sección se definen como

$$\alpha_{\text{sección}} = \text{Re}(\gamma) \text{ Nepers/sección, y}$$

$$\beta_{\text{sección}} = \text{Im}(\gamma) \text{ radianes/sección}$$

El desplazamiento de fase para cada sección puede calcularse como

$$\phi = (57{,}296 \text{ Grad/Rad}) \beta_{\text{sección}} \text{ Grados.}$$

La velocidad de la onda progresiva en secciones por segundo que se propaga a lo largo de la red 203 multiplicadora de energía se calcula como

$$v = \frac{\omega}{\beta_{\text{sección}}} \text{ secciones/segundo.}$$

A continuación, la circunferencia C_λ eléctrica de la red 203 multiplicadora de energía se especifica en términos de

longitudes de onda a la frecuencia de funcionamiento en grados como

$$C_{Grad} = C_{\lambda}(360 \text{ Grados/longitud de onda}) \quad \text{Grados}.$$

A continuación, el número de secciones N (bien redes T o bien redes π) se calcula como

$$N = \frac{C_{Grad}}{\phi}.$$

Una vez conocido el número N de secciones, entonces la resistencia R_C de pérdida alrededor de la trayectoria cerrada de la red 203 multiplicadora de energía puede ser calculada como

$$R_C = Nr \text{ Ohmios}.$$

donde r es tal como se ha definido anteriormente. El decaimiento A de propagación de campo para un único recorrido de la red 203 multiplicadora de energía puede ser calculado como

$$A = e^{-\alpha_{sección} N}.$$

La atenuación A_{dB} alrededor de la red 203 multiplicadora de energía se calcula como

$$A_{dB} = -20\log(A).$$

La duración T de impulso de una perturbación periférica se calcula como

$$\tau = \frac{N}{v} \text{ segundos}.$$

El aumento M de energía del multiplicador 200 de energía en el acoplamiento óptimo se calcula como

$$M = \frac{1}{(1 - A^2)}.$$

El aumento M_{dB} de energía expresado en decibelios se calcula como

$$M_{dB} = 10\log(M).$$

El acoplamiento C_{opt} óptimo se calcula como

$$C_{Opt} = 1 - A^2.$$

El acoplamiento C_{opt} óptimo se calcula en decibelios (dB) como

$$C_{optdB} = 10\log(C_{opt}) \text{ dB}.$$

Además, una referencia útil que puede ser consultada para determinar los diversos elementos del acoplador 209 direccional y del desplazador 219 de fase es Matthaei, G. L., L. Young y E. M. T. Jones, Microwave Filters, Impedance Matching Networks, and Coupling Structures, McGraw-Hill, 1964, (véase el Capítulo 14). Aunque en la presente memoria pueden describirse diseños de circuitos específicos que pueden ser empleados como el acoplador 209 direccional y el

desplazador 219 de fase, se entiende que pueden emplearse también otros diseños de circuito y estructuras de circuito, estando dichos diseños alternativos incluidos dentro del alcance de la presente invención.

Con referencia a continuación a la Fig. 12, se muestra el multiplicador 200 de energía acoplado a una red 300 de distribución de energía según una realización de la presente invención. Aunque el multiplicador 200 de energía que emplea la red 203 multiplicadora de energía se muestra en la Fig. 12, se entiende que pueden emplearse otras realizaciones de multiplicadores de energía tal como se describe en la presente memoria tal como el multiplicador 250 de energía, donde el multiplicador 200 de energía y la red 203 multiplicadora de energía se describen aquí simplemente como un ejemplo.

La red 300 de distribución de energía puede ser, por ejemplo, una red eléctrica tal como la red eléctrica de América del Norte u otras redes eléctricas en cualquier parte del mundo. Tal como se muestra en la Fig. 12, la red 206 de lanzamiento está acoplada a la red 300 de distribución de energía. La salida del desviador 223 está acoplada también a la red 300 de distribución de energía.

El desviador 223 recibe una realimentación 303 de carga que puede comprender, por ejemplo, una señal de realimentación de carga generada en base a una carga eléctrica actual en la red 300 de distribución de energía. El acoplador 209 direccional puede ser acoplado selectivamente a la red 206 de lanzamiento, o la red 206 de lanzamiento puede ser acoplada selectivamente a la red 300 de distribución de energía para facilitar una entrada de energía controlada a la red 203 multiplicadora de energía desde la red 300 de distribución de energía, resultando de esta manera en el almacenamiento de energía en la red 203 multiplicadora de energía del multiplicador 200 de energía. De manera alternativa, el acoplador 209 direccional puede estar configurado para controlar la velocidad a la que se introduce energía a la red 203 multiplicadora de energía. En virtud del hecho de que la red 206 de lanzamiento y el desviador 223 están acoplados a la red 300 de distribución de energía, la red 203 multiplicadora de energía puede ser empleada para almacenar energía desde la red 300 de distribución de energía y para suministrar energía a la red 300 de distribución de energía según se desee.

El desviador 223 puede estar configurado para controlar la salida de la red 203 multiplicadora de energía en respuesta a la realimentación 303 de carga. En este sentido, la energía almacenada en la red 203 multiplicadora de energía puede ser suministrada, por ejemplo, a la red 300 de distribución de energía para proporcionar energía cuando se produce un aumento abrupto en la carga eléctrica asociada con la red 300 de distribución de energía.

Debido a que las instalaciones que suministran energía a las redes 300 de distribución de energía pueden experimentar desajustes severos entre las demandas de carga máxima y media, la red 203 multiplicadora de energía puede ser empleada de manera ventajosa para llevar a cabo un "suavizado de energía". Por ejemplo, la red 203 multiplicadora de energía puede ser empleada en ubicaciones locales a las cargas eléctricas que pueden estar alejadas de las estaciones de generación de energía para “suavizar" las caídas de tensión y los apagones debidos a instalaciones con grandes demandas de carga pico-a-promedio. En este sentido, la red 203 multiplicadora de energía puede ser acoplada a varias ubicaciones de las redes 300 de distribución de energía para proporcionar una transición suave controlada local entre los estados de carga, permitiendo un almacenamiento de energía temporal que puede ser aprovechado según sea necesario.

Esto puede reducir el estrés electromecánico sobre los equipos de generación de energía existentes en las estaciones de generación eléctrica. Específicamente, cuando se producen grandes oscilaciones de carga y transitorios en los sistemas 300 de distribución de energía, pueden producirse tensiones electromecánicas significativas sobre la maquinaria rotativa usada en la generación de energía. Por ejemplo, la ocurrencia individual de un gran transitorio o las ocurrencias repetidas de transitorios más pequeños a lo largo del tiempo pueden resultar en el fallo catastrófico de los ejes y de otros componentes mecánicos de los generadores eléctricos. Además, pueden producirse fallos del cableado eléctrico en los generadores y en otros puntos en los sistemas de distribución eléctrica. Además, las oscilaciones y los transitorios de carga pueden afectar a la estabilidad de la frecuencia y la fase de los generadores eléctricos ya que reaccionan a los cambios en las cargas eléctricas. La red multiplicadora de energía puede ser empleada para eliminar dichas tensiones sobre los equipos de generación y distribución de energía, y puede garantizar la estabilidad de la frecuencia y la fase en las redes 300 de distribución de energía existentes.

En circunstancias en las que existe un punto de carga eléctrico intermedio tal como una ciudad entre estaciones de generación eléctrica y una carga remota, es posible que, durante tiempos de carga pesada, la capacidad demandada no pueda ser transportada desde la estación de generación eléctrica a la carga remota a través del punto de carga eléctrica intermedio. De esta manera, puede emplearse un multiplicador 200 de energía que incluye la red 203 multiplicadora de energía, por ejemplo, para abordar el problema de congestión de tráfico eléctrico durante "horas punta" alrededor de dicho punto de carga intermedio. Por ejemplo, la red 203 multiplicadora de energía puede estar acoplada a la red 300 de distribución de energía cerca del punto de carga intermedio para permitir el almacenamiento de energía a la que puede accederse en dichos tiempos de tráfico intenso, suavizando de esta manea la demanda y previniendo la pérdida de servicio en la carga remota.

Para facilitar un suavizado de energía efectivo en una red 300 de distribución de energía determinada, una o más redes 203 multiplicadoras de energía pueden estar acopladas a partes sometidas a tensión debida a la demanda de una red 300 de distribución de energía determinada. Tal como se ha descrito anteriormente, dichas partes sometidas a tensión debido a la demanda de una red 300 de distribución de energía pueden estar en lugares cercanos a ciudades u otras cargas grandes que experimentan grandes demandas de carga de pico-a-promedio. Además, dichas partes sometidas a tensión debido a la demanda pueden estar cerca de los puntos de carga eléctrica intermedios. Además, tal como se apreciará, otras ubicaciones de varias redes 300 de distribución de energía pueden ser sometidas a tensión debido a la demanda.

Las diversas realizaciones de los multiplicadores de energía descritos en la presente memoria, incluyendo el multiplicador 200 de energía que emplea la red 203 multiplicadora de energía, son ideales para el suavizado de energía en una red 300 de distribución de energía ya que la energía almacenada en dichas redes de multiplicación de energía está disponible de manera casi instantánea. Por consiguiente, la red 203 multiplicadora de energía puede ser empleada, por ejemplo, para suministrar energía cuando el equipo generador en la red 300 de distribución de energía no puede reaccionar lo suficientemente rápido como para compensar los cambios abruptos, tales como aumentos en la carga eléctrica. En este sentido, pueden emplearse una o más redes 203 multiplicadoras de energía, por ejemplo, para suministrar energía a la red 300 de distribución de energía durante períodos de tiempo para facilitar el ajuste de los sistemas de generación de energía acoplados a la red de distribución de energía para suministrar energía a la carga eléctrica aumentada después de la ocurrencia del aumento abrupto.

Con referencia a la Fig. 13, se muestran varios multiplicadores 200/250 de energía que emplean redes 203/253 multiplicadoras de energía acopladas a la red 300 de distribución de energía según otra realización de la presente invención. Aunque se muestran redes 203/253 multiplicadoras de energía, tal como puede apreciarse, pueden emplearse otras realizaciones de las redes de multiplicación de energía. Un sistema 206 de control de multiplicador de energía está provisto de salidas que están acopladas eléctricamente a cada uno de los desviadores 223 de los multiplicadores 200/250 de energía respectivos.

El sistema 206 de control del multiplicador de energía genera salidas de control que son aplicadas a los desviadores 223 para controlar la liberación de energía de cada una de las redes 203/253 multiplicadoras de energía a la red 300 de distribución de energía en respuesta a la realimentación de carga desde la red 300 de distribución de energía. En una realización, el sistema 206 de control del multiplicador de energía está configurado para aplicar energía desde cada una de las redes 203/253 multiplicadoras de energía a la red 300 de distribución de energía en un orden secuencial. En este sentido, el período de tiempo durante el que la red 300 de distribución de energía puede recibir energía desde las redes 203/253 multiplicadoras de energía aumenta en función del número de redes 203/253 multiplicadoras de energía empleadas. En este sentido, pueden emplearse múltiples redes 203/253 multiplicadoras de energía para proporcionar un tiempo adecuado para que el equipo generador se ajuste a las cargas eléctricas cambiantes sin estresar los componentes mecánicos y eléctricos del equipo generador. De manera alternativa, la energía almacenada en múltiples redes de entre las redes 203/253 multiplicadoras de energía puede ser aplicada a la red 300 de distribución de energía de manera simultánea para satisfacer aumentos de carga extremos.

Además, los elementos que se emplean para construir las diversas realizaciones de las redes 203/253 multiplicadoras de energía descritas en la presente memoria pueden ser construidas usando dieléctricos de baja pérdida y alta permitividad en capacitancias, y conductores de baja pérdida en las inductancias (tales como bobinas de inductancia). Dichos conductores de baja pérdida pueden ser, por ejemplo, conductores y/o superconductores criogénicos. Dichos conductores de baja pérdida permiten una capacidad de almacenamiento mucho mayor con eficacias extremadamente altas. Específicamente, debido a que el almacenamiento de energía aumentará en las redes 203/253 multiplicadoras de energía tal como se ha descrito en la presente memoria hasta que las pérdidas experimentadas en las redes 203/253 multiplicadoras de energía igualen la entrada de energía, donde una red multiplicadora de energía determinada está construida con conductores de pérdida extremadamente baja, se deduce que pueden almacenarse grandes cantidades de energía.

REIVINDICACIONES

1. Un multiplicador (200, 250) de energía, que comprende:

una red (203, 253) multiplicadora de energía que comprende un circuito inhibidor de velocidad, conectado de manera múltiple, construido a partir de una serie de elementos concentrados, en el que el circuito inhibidor de velocidad, conectado de manera múltiple, está configurado para multiplicar energía e inhibir una velocidad de propagación de una onda electromagnética a través de la red multiplicadora de energía y el número de elementos (216) concentrados comprende una serie de elementos eléctricos concentrados, discretos, de dos terminales, y

una red (206) de lanzamiento; y

un acoplador (209) direccional que acopla la red (206) de lanzamiento a la red (203, 253) multiplicadora de energía.

2. Multiplicador (200, 250) de energía según la reivindicación 1, que comprende además un desviador (223) acoplado a la red (203, 253) multiplicadora de energía.

3. Multiplicador de energía según la reivindicación 1, que comprende además una fuente (213) de energía acoplada a la red (206) de lanzamiento, en el que la fuente (213) de energía capaz de lanzar una onda progresiva de excitación a la red (206) de lanzamiento.

4. Multiplicador (200, 250) de energía según la reivindicación 3, en el que una onda progresiva se propaga a través de la red (203, 253) multiplicadora de energía a una velocidad que es menor de 1/10 de una velocidad de propagación de la onda progresiva en el espacio vacío.

5. Multiplicador (200, 250) de energía según la reivindicación 3, en el que una longitud de trayectoria cerrada de la red (203, 253) multiplicadora de energía es menor que 1/10 de una longitud de onda de la onda progresiva de excitación generada por la fuente (213) de energía

6. Multiplicador (200, 250) de energía según la reivindicación 3, en el que la fuente (213) de energía genera la onda progresiva de excitación que tiene una frecuencia nominal de 60 Hz.

7. Multiplicador (200, 250) de energía según la reivindicación 3, en el que la fuente (213) de energía genera la onda progresiva de excitación que tiene una frecuencia nominal de 50 Hz.

8. Multiplicador (200, 250) de energía según la reivindicación 3, en el que la fuente (213) de energía genera la onda progresiva de excitación que tiene una frecuencia nominal de 400 Hz.

9. Multiplicador (200, 250) de energía según la reivindicación 3, en el que el acoplador (209) direccional acopla al menos una parte de la onda progresiva de excitación desde la red de lanzamiento a la red (203, 253) multiplicadora de energía.

10. Multiplicador (200, 250) de energía según la reivindicación 9, en el que una longitud eléctrica de la red (203, 253) multiplicadora de energía es aproximadamente igual a un múltiplo entero de una longitud de onda de la onda progresiva de excitación.

11. Multiplicador (200, 250) de energía según la reivindicación 1, en el que el acoplador (209) direccional comprende además un segundo número de elementos concentrados.

12. Multiplicador (200, 250) de energía según la reivindicación 1, que comprende, además: una serie de redes de lanzamiento, y una serie de acopladores direccionales, en el que cada uno de los acopladores direccionales acopla una de las redes de lanzamiento a la red (203, 253) multiplicadora de energía.

13. Multiplicador (200, 250) de energía según la reivindicación 1, que comprende además una onda solitaria que se propaga en la red (203, 253) multiplicadora de energía.

14. Multiplicador (200, 250) de energía según la reivindicación 1, en el que un extremo terminal de la red (206) de lanzamiento termina en una carga acoplada.

15. Multiplicador (200, 250) de energía según la reivindicación 1, en el que la red (203, 253) multiplicadora de energía comprende además un anillo cerrado.

16. Multiplicador (200, 250) de energía según la reivindicación 1, en el que la red (203, 253) multiplicadora de

energía comprende además un circuito, en el que los elementos concentrados comprenden además una serie de condensadores y una serie de inductores.

17. Multiplicador (200, 250) de energía según la reivindicación 1, en el que la red (203, 253) multiplicadora de energía comprende además al menos una estructura eléctrica, en el que los elementos concentrados comprenden además una serie de capacitancias inherentes y una serie de inductancias inherentes de la al menos una estructura eléctrica.

18. Multiplicador (200, 250) de energía según la reivindicación 17, en el que la estructura eléctrica comprende además una hélice.

19. Multiplicador (200, 250) de energía según la reivindicación 17, en el que la estructura eléctrica comprende además al menos dos hélices entre-cruzadas.

20. Multiplicador (200, 250) de energía según la reivindicación 17, en el que la estructura eléctrica comprende además una hélice arrollada en direcciones opuestas.

21. Multiplicador (200, 250) de energía según la reivindicación 1, en el que la red (203, 253) multiplicadora de energía comprende además un circuito que incluye una estructura eléctrica, en el que los elementos concentrados comprenden además una combinación de una serie de condensadores, una serie de inductores, una serie capacitancias inherentes de la estructura eléctrica, y una serie de inductancias inherentes de la estructura eléctrica.

22. Multiplicador (200, 250) de energía según la reivindicación 2, que comprende, además:

una carga eléctrica; y

el desviador acopla de manera alternativa la red (203, 253) multiplicadora de energía a la carga.

23. Multiplicador (200, 250) de energía según la reivindicación 2, en el que el desviador acopla una parte de una cantidad total de energía almacenada en la red (203, 253) multiplicadora de energía a una carga.

24. Multiplicador (200, 250) de energía según la reivindicación 1, en el que la red (203, 253) multiplicadora de energía está construida a partir de elementos superconductores.

25. Multiplicador (200, 250) de energía según la reivindicación 1, en el que la red (203, 253) multiplicadora de energía está construida a partir de elementos criogénicos.

26. Multiplicador (200, 250) de energía según la reivindicación 1, en el que la red (203, 253) multiplicadora de energía comprende además una banda de paso eléctrica dinámica.

27. Un procedimiento para multiplicar energía, caracterizada por:

acoplar una onda progresiva en una red (203, 253) multiplicadora de energía desde una red (206) de lanzamiento mediante el uso de un acoplador (209) direccional;

propagar direccionalmente la onda progresiva dentro de la red (203, 253) multiplicadora de energía, en el que la red (203, 253) multiplicadora de energía comprende un circuito inhibidor de velocidad, conectado de manera múltiple, construido a partir de una serie de elementos concentrados, en el que el circuito inhibidor de velocidad, conectado de manera múltiple, está configurado para multiplicar energía e inhibir una velocidad de una propagación de una onda electromagnética a través de la red multiplicadora de energía y la serie de elementos concentrados comprende una serie de elementos eléctricos concentrados, discretos, de dos terminales.

28. Procedimiento según la reivindicación 27, en el que la etapa de propagar direccionalmente la onda progresiva dentro de la red (203, 253) multiplicadora de energía comprende además propagar direccionalmente una señal de energía de CA multiplicada dentro de la red (203, 253) multiplicadora de energía.

29. Procedimiento según la reivindicación 28, en el que la etapa de propagar direccionalmente la onda progresiva dentro de la red (203, 253) multiplicadora de energía comprende además la etapa de propagar direccionalmente la onda progresiva dentro de la red multiplicadora de energía que tiene una longitud de trayectoria cerrada que es menor más de 1/10 de una longitud de onda de la onda progresiva.

30. Procedimiento según la reivindicación 28, en el que la etapa de propagar direccionalmente la señal de energía de CA multiplicada dentro de la red (203, 253) multiplicadora de energía comprende además la etapa de propagar direccionalmente la señal de energía de CA multiplicada que tiene una frecuencia aproximadamente igual a 50 Hz.

31. Procedimiento según la reivindicación 28, en el que la etapa de propagar direccionalmente la señal de energía de CA multiplicada dentro de la red (203, 253) multiplicadora de energía comprende además la etapa de propagar direccionalmente la señal de energía de CA multiplicada que tiene una frecuencia aproximadamente igual a 60 Hz.

32. Procedimiento según la reivindicación 28, en el que la etapa de propagar direccionalmente la señal de energía de CA multiplicada dentro de la red (203, 253) multiplicadora de energía comprende además la etapa de propagar direccionalmente la señal de energía de CA multiplicada que tiene una frecuencia aproximadamente igual a 400 Hz.

33. Procedimiento según la reivindicación 27, en el que la etapa de propagar direccionalmente la onda progresiva dentro de la red (203, 253) multiplicadora de energía comprende además propagar direccionalmente una onda solitaria multiplicada dentro de la red (203, 253) multiplicadora de energía.

34. Procedimiento según la reivindicación 27, que comprende además la etapa de acoplar direccionalmente al menos una parte de una onda progresiva de excitación a la red (203, 253) multiplicadora de energía.

35. Procedimiento según la reivindicación 24, en el que la etapa de acoplar direccionalmente al menos una parte de la onda progresiva de excitación a la red multiplicadora de energía comprende además las etapas de:

lanzar la onda progresiva de excitación a la red (206) de lanzamiento; y

acoplar direccionalmente al menos una parte de la onda progresiva de excitación desde la red (206) de lanzamiento a la red (203, 253) multiplicadora de energía.

36. Procedimiento según la reivindicación 25, en el que la etapa de acoplar direccionalmente al menos una parte de la onda progresiva de excitación desde la red (206) de lanzamiento a la red (203, 253) multiplicadora de energía comprende además la etapa de acoplar direccionalmente la onda progresiva de excitación desde la red (206) de lanzamiento a la red (203, 253) multiplicadora de energía usando un acoplador (209) direccional.

37. Procedimiento según la reivindicación 35, que comprende además la etapa de sincronizar espacialmente la onda progresiva de excitación con la onda progresiva en la red (203, 253) multiplicadora de energía.

38. Procedimiento según la reivindicación 27, que comprende además la etapa de desviar la señal de energía eléctrica multiplicada desde la red (203, 253) multiplicadora de energía a una carga eléctrica.

39. Procedimiento según la reivindicación 27, que comprende además las etapas de:

lanzar una serie de ondas progresivas de excitación a una serie de redes de lanzamiento correspondientes; y

acoplar direccionalmente al menos una parte de cada una de las ondas progresivas de excitación desde las redes de lanzamiento a la red multiplicadora de energía.

40. Procedimiento según la reivindicación 27, en el que la onda progresiva se propaga direccionalmente dentro de la red multiplicadora de energía que está construida a partir de elementos superconductores.

41. Procedimiento según la reivindicación 27, en el que la onda progresiva se propaga direccionalmente dentro de la red (203, 253) multiplicadora de energía que está construida a partir de elementos criogénicos.

42. Procedimiento según la reivindicación 27, que comprende además la etapa de alterar dinámicamente una banda de paso eléctrica de la red (203, 253) multiplicadora de energía.

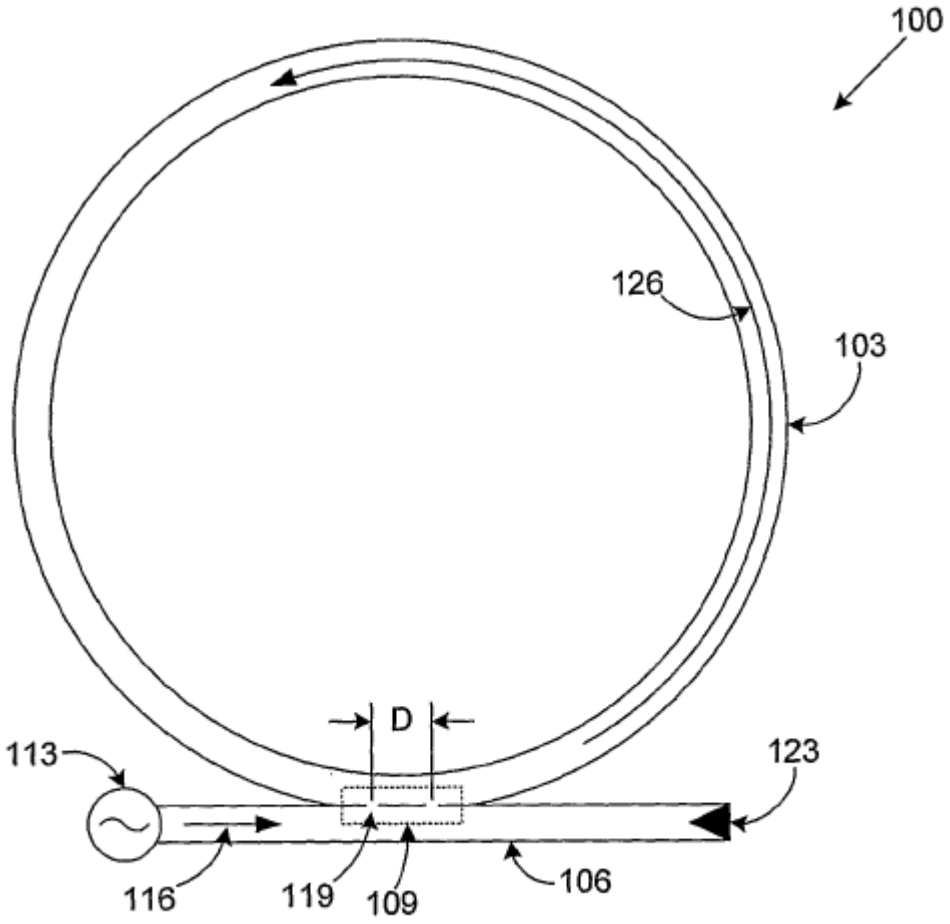


FIG. 1

FIG. 2

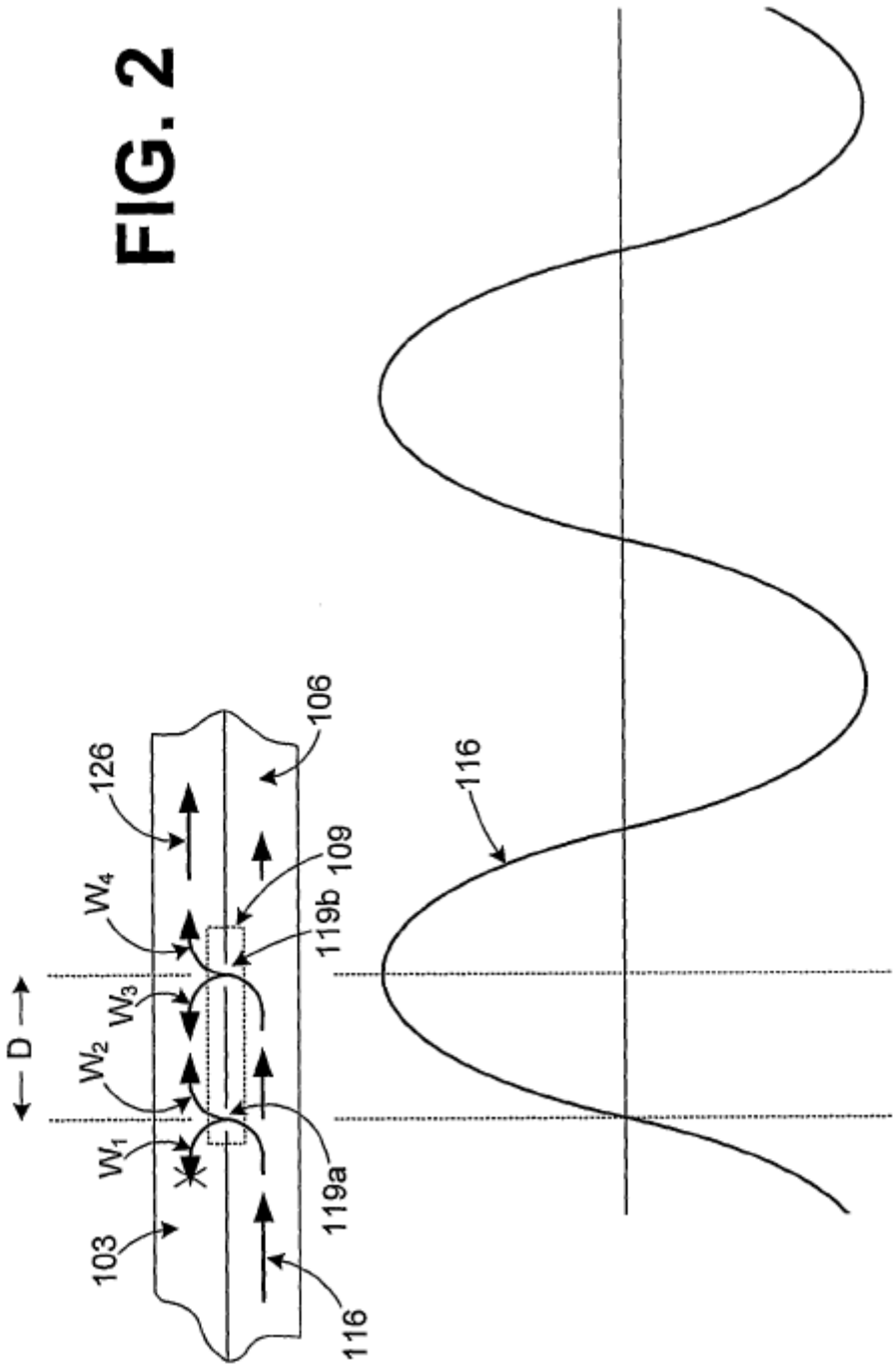
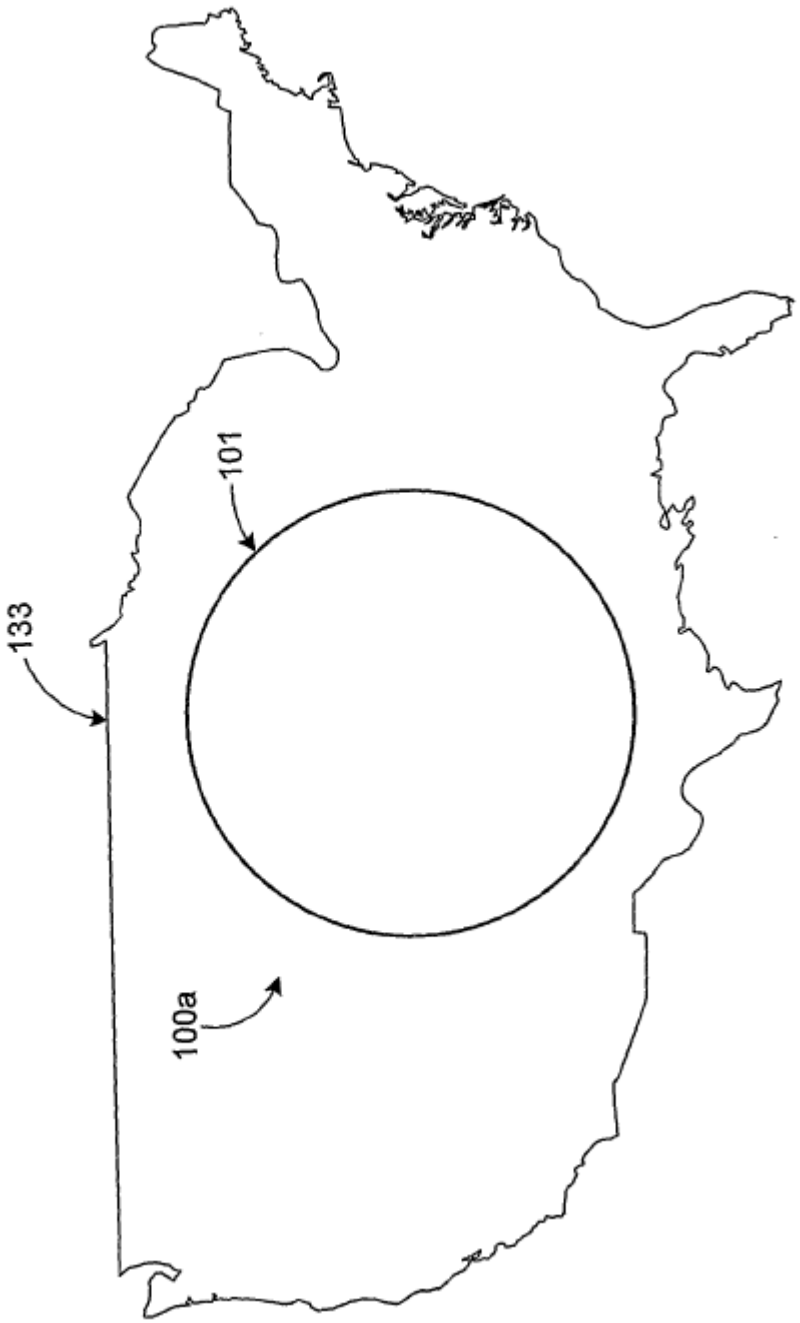


FIG. 3



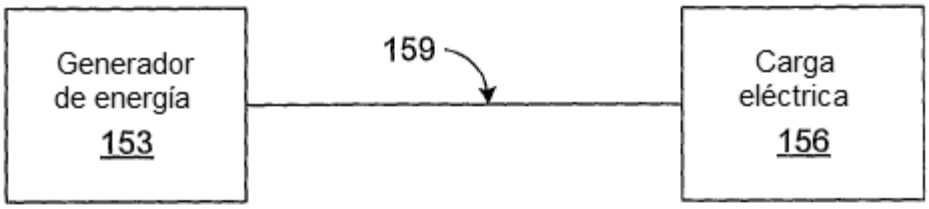

Generador
de energía
153
159
Carga
eléctrica
156

FIG. 4A

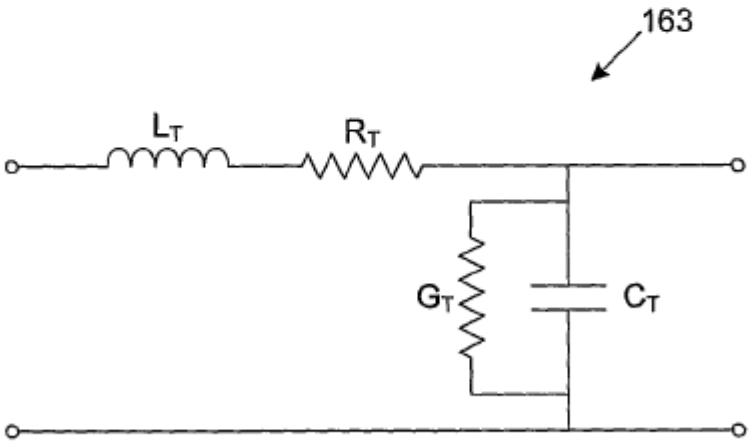

163
L_T
R_T
G_T
C_T

FIG. 4B

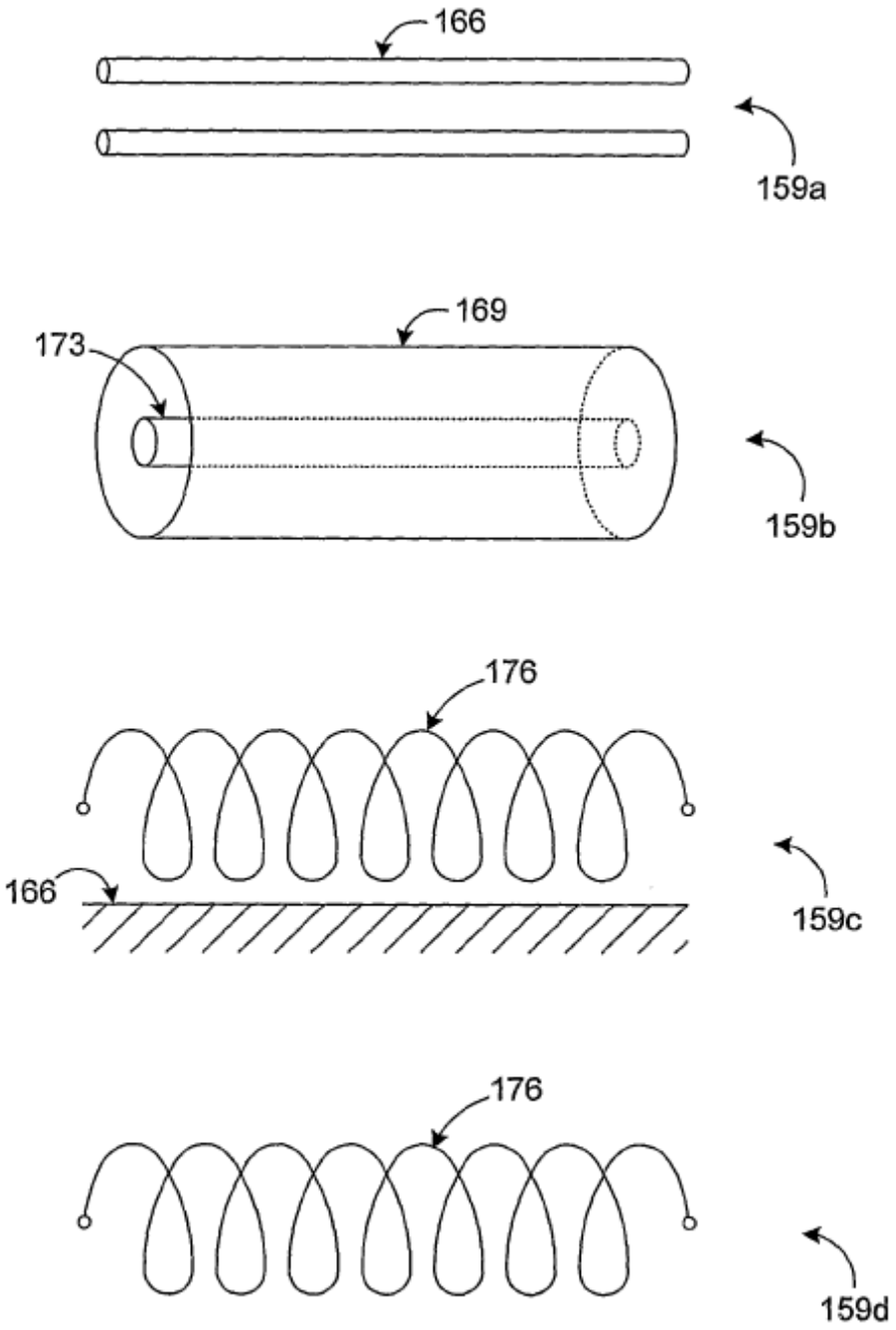


FIG. 5

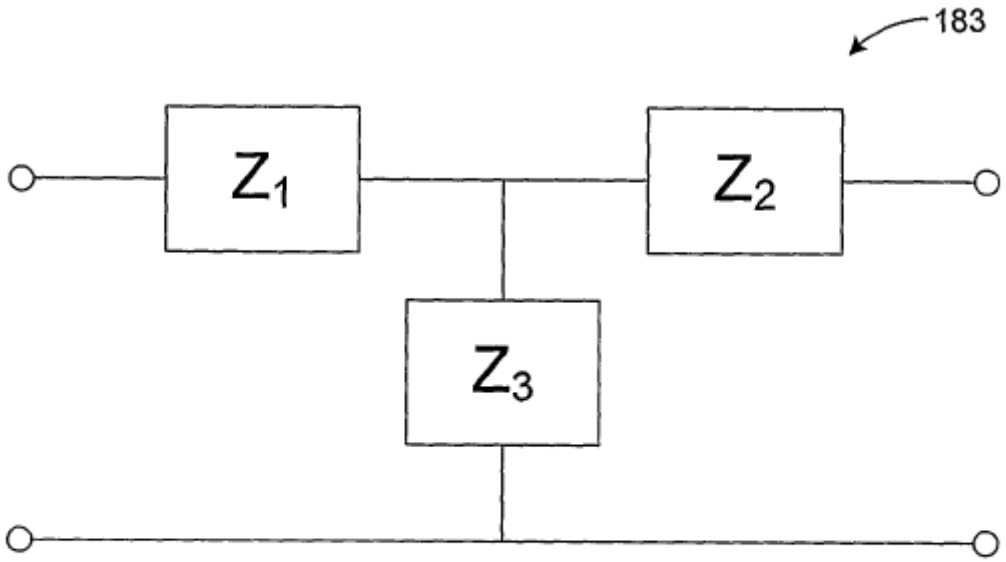


FIG. 6A

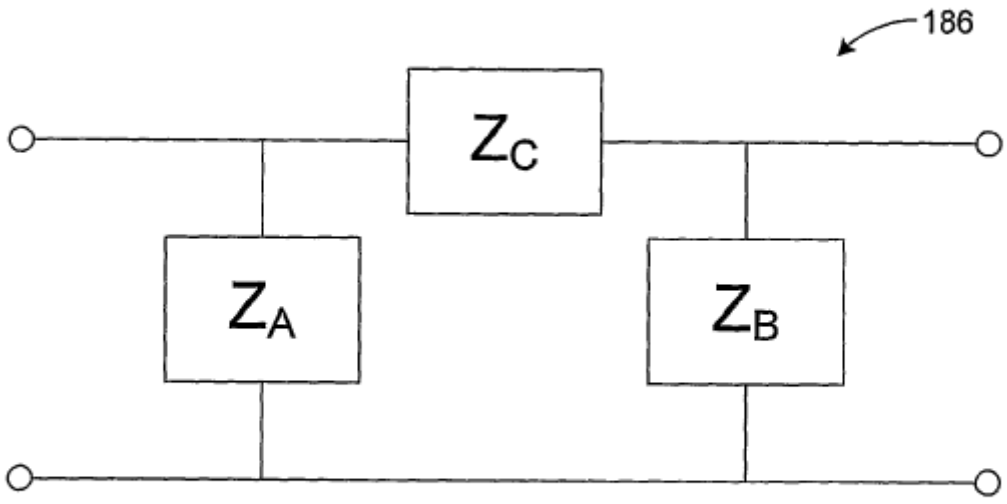


FIG. 6B

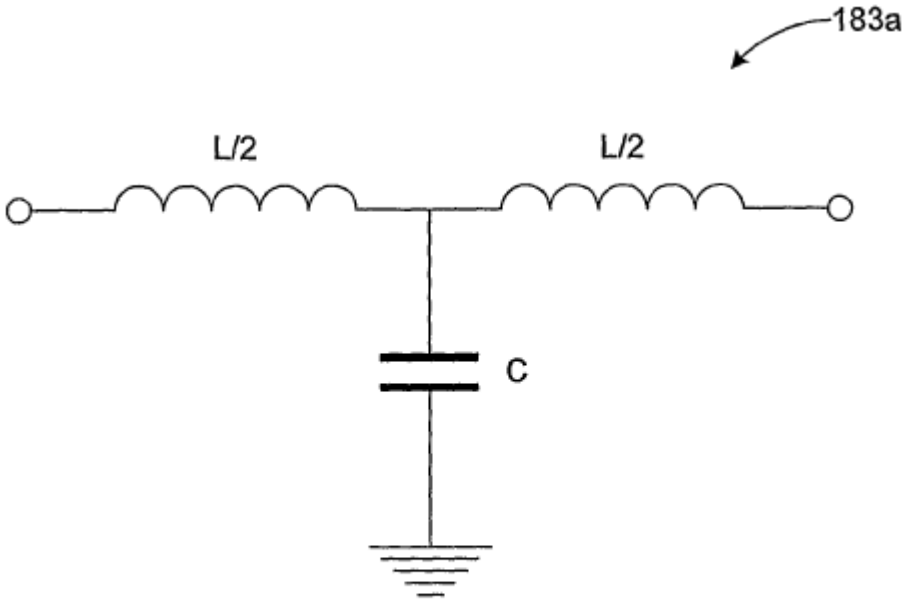


FIG. 7A

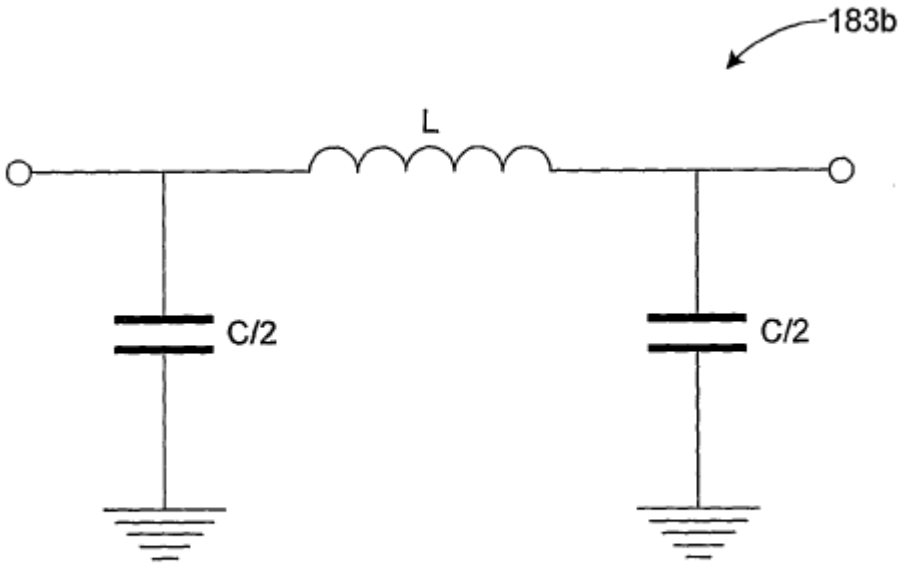


FIG. 7B

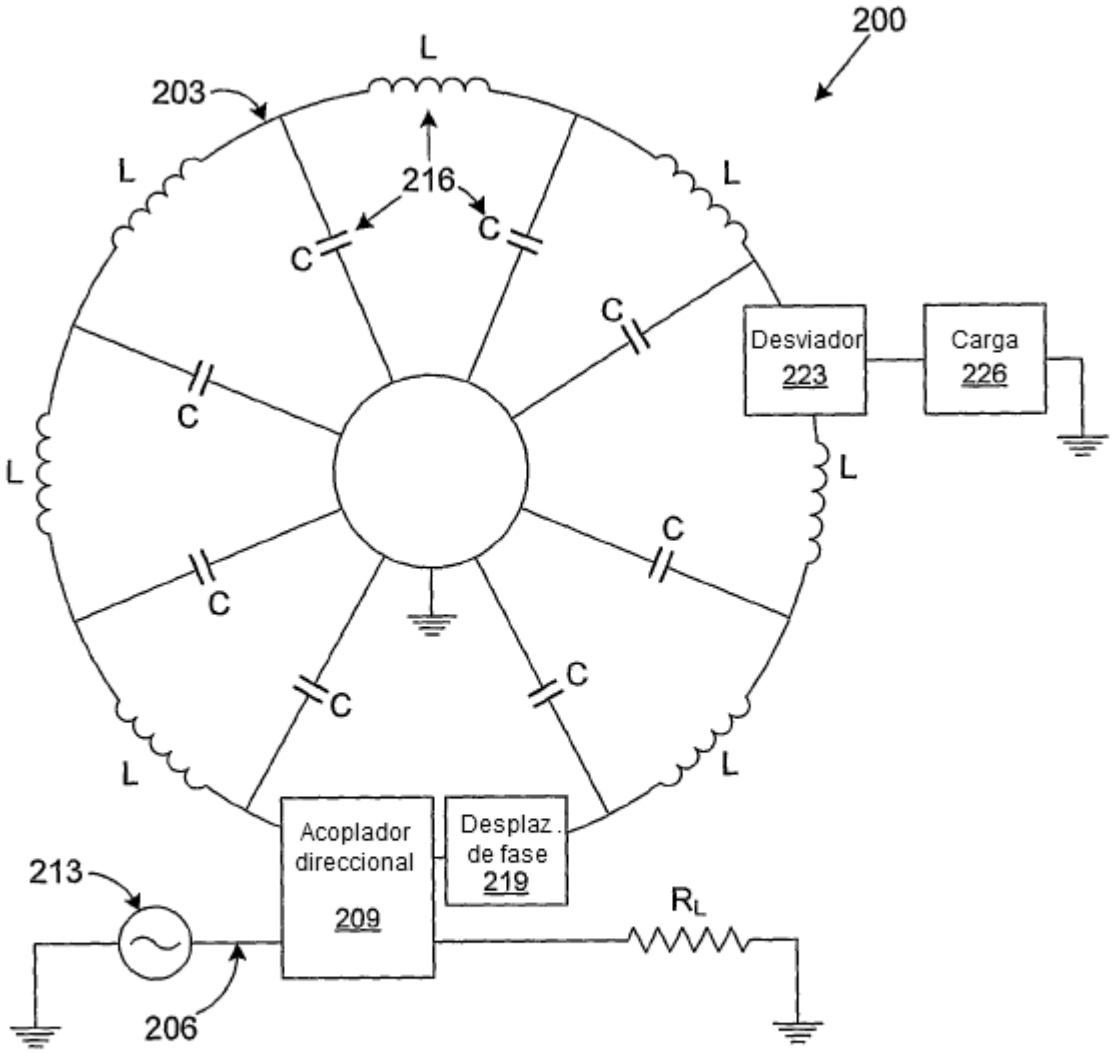

200
203
L
216
C
Desviador
223
Carga
226
Acoplador
direccional
209
Desplaz.
de fase
219
213
206
R_L

FIG. 8

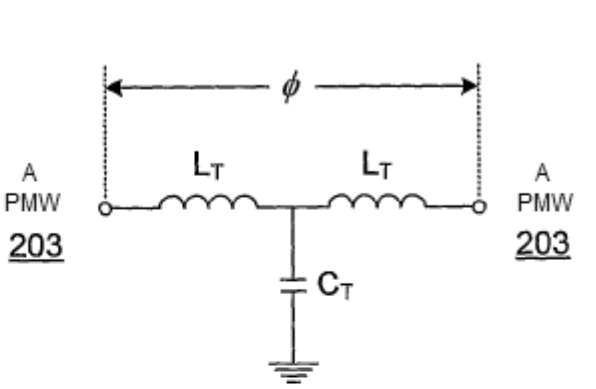

219
ϕ
A
PMW
203
L_T
L_T
A
PMW
203
C_T

FIG. 9

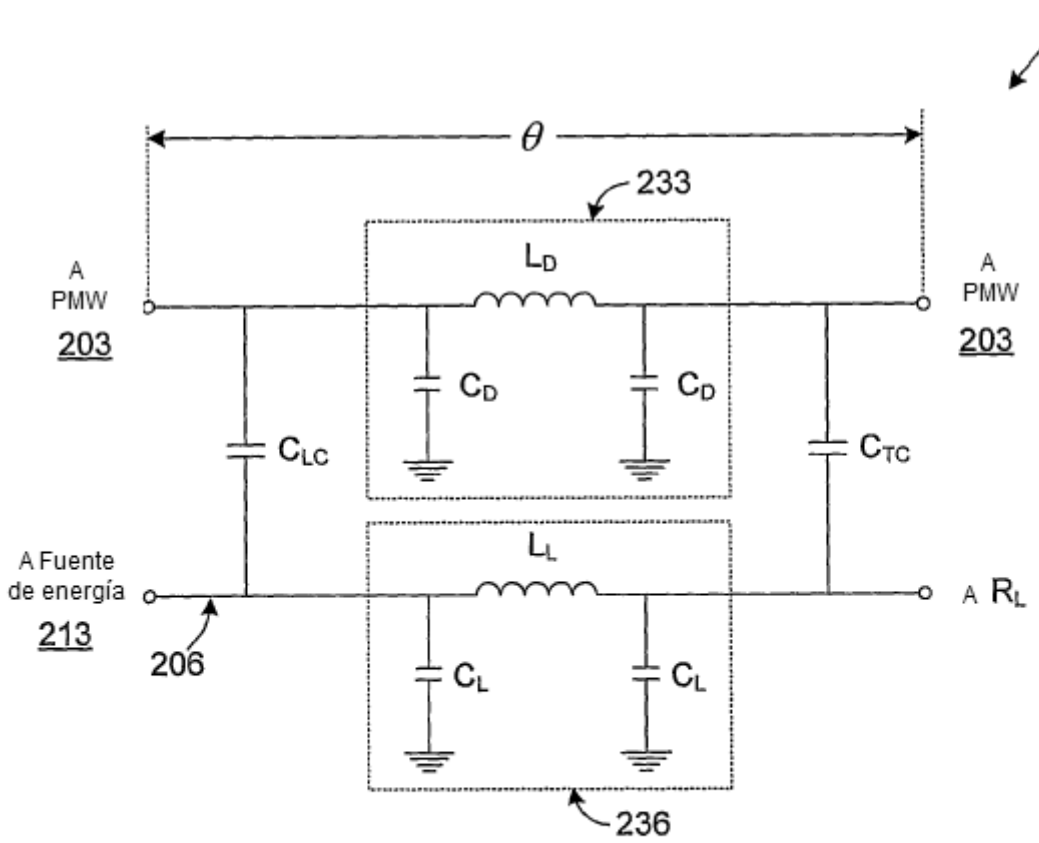

209
θ
233
A
PMW
203
L_D
A
PMW
203
C_D
C_D
C_{LC}
C_{TC}
L_L
A Fuente
de energía
213
206
A R_L
C_L
C_L
236

FIG. 10

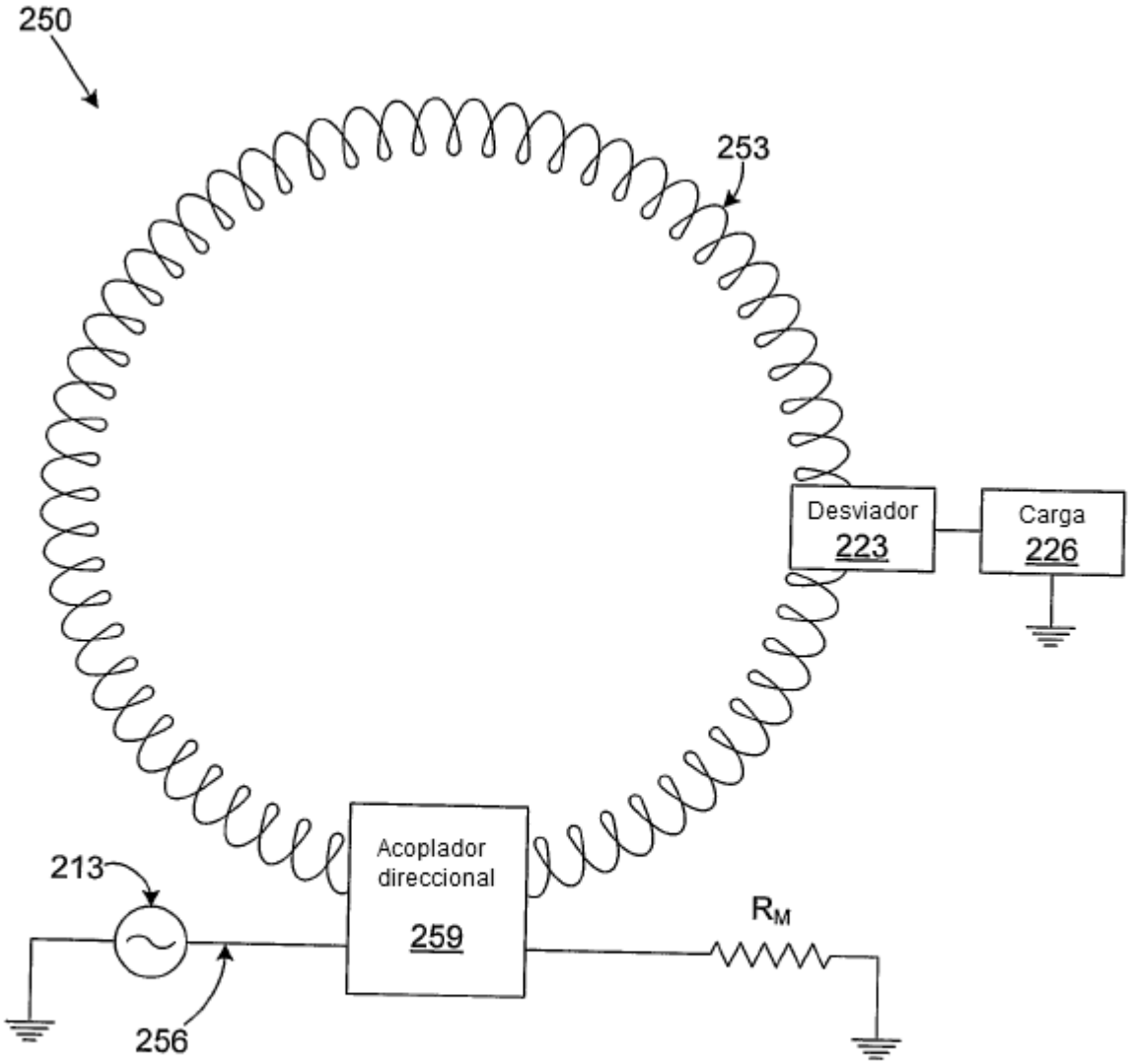

250
253
Desviador
223
Carga
226
Acoplador
direccional
259
213
256
R_M

FIG. 11

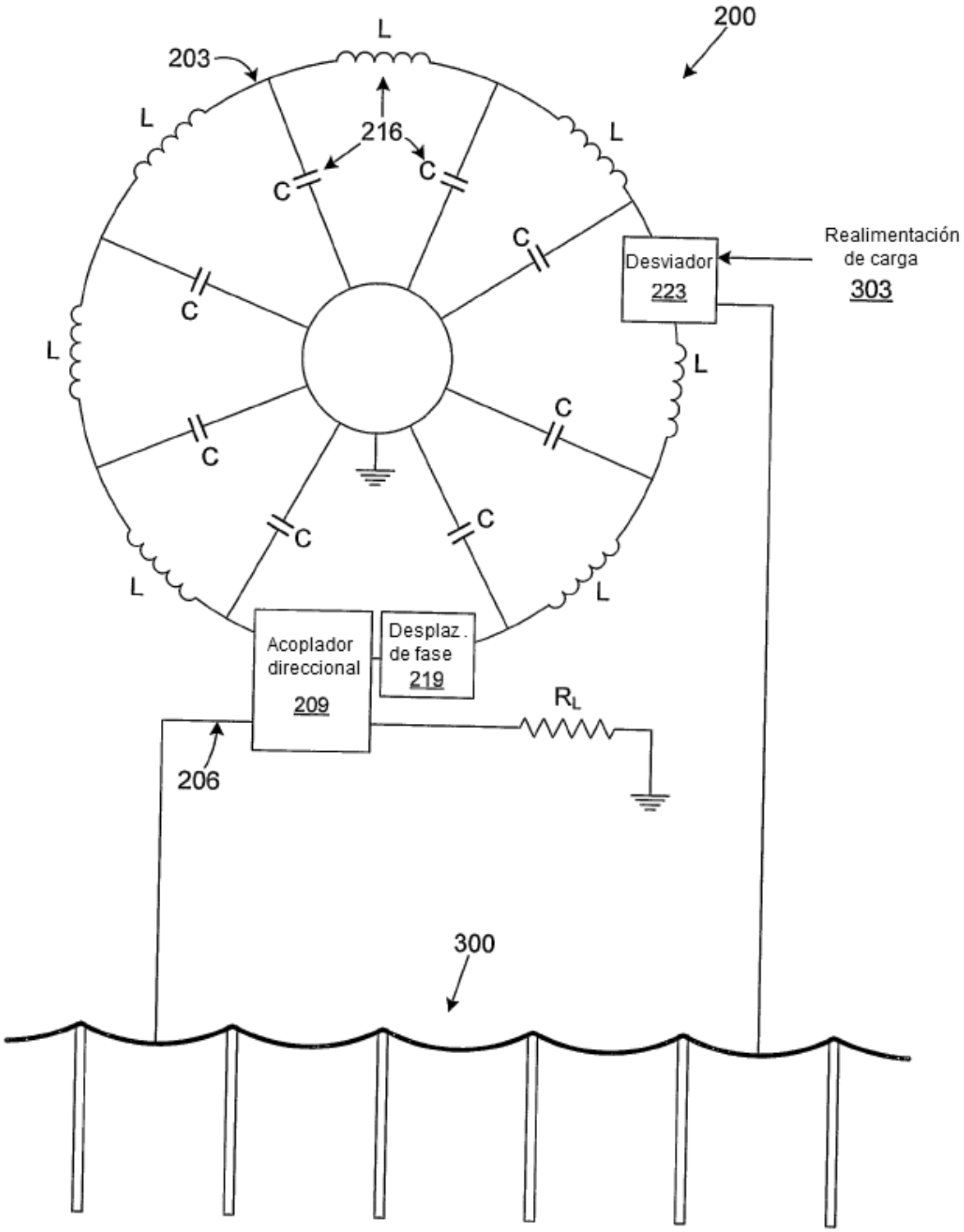

200
203
L
216
C
Realimentación
de carga
303
Desviador
223
Acoplador
direccional
209
Desplaz.
de fase
219
R_L
206
300

FIG. 12

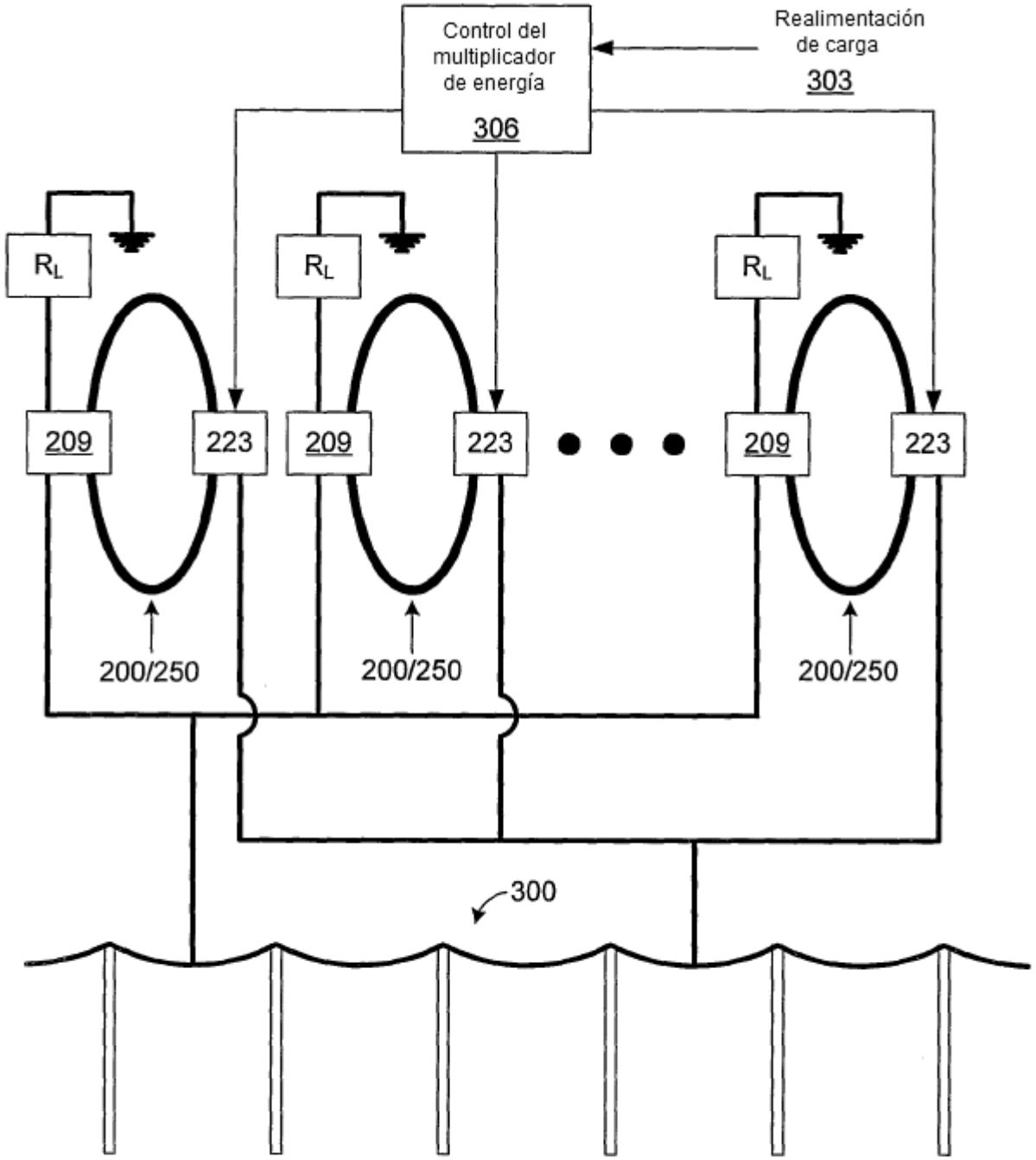

Control del multiplicador de energía
306
Realimentación de carga
303
R_L
R_L
R_L
209
223
209
223
209
223
200/250
200/250
200/250
300

FIG. 13