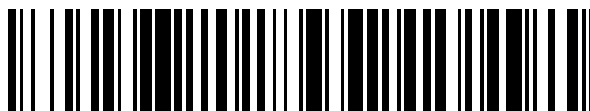


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 509 953**

51 Int. Cl.:

H01Q 1/04 (2006.01)

H01Q 7/00 (2006.01)

H01Q 9/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.10.2011** **E 11764763 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.07.2014** **EP 2625741**

54 Título: **Antena de grandes dimensiones de ondas de superficie y de banda ancha**

30 Prioridad:

07.10.2010 FR 1058165

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

20.10.2014

73 Titular/es:

**TDF (100.0%)
106, avenue Marx Dormoy
92120 Montrouge, FR**

72 Inventor/es:

**PALUD, SÉBASTIEN;
PIOLE, PHILIPPE;
JEZEQUEL, PIERRE-YVES;
LAURENT, JEAN-YVES y
PRIOUL, LAURENT**

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 509 953 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

Antena de grandes dimensiones de ondas de superficie y de banda ancha

5 La presente invención se refiere a una antena de grandes dimensiones para emitir y/o recibir ondas de superficie en una banda ancha de frecuencia que incluye especialmente parte o la totalidad de las frecuencias bajas, medias y altas comprendidas entre 30 kHz aproximadamente y 30 MHz aproximadamente, es decir, ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas.

10 La antena puede estar incorporada por ejemplo en un sistema de emisión de alta potencia especialmente para la difusión de señales de programas radiofónicos o de televisión, un sistema de radar de ondas de superficie o un sistema de recepción y de interceptación.

15 En la actualidad, se usan mástiles radiantes de grandes dimensiones para emitir potencias elevadas en las bandas hectométricas. Estos mástiles presentan el inconveniente de que son costosos, necesitan un terreno de seguridad importante para su instalación, y son poco estéticos y discretos. No están optimizados para una difusión esencialmente mediante ondas de superficie.

20 Las antenas que usan únicamente una onda de superficie como vector de propagación son muy poco numerosas. Como prueba, los sistemas de radar de ondas de superficie actuales usan antenas de tipo látigo o bicónicas que están mal adaptadas para aplicaciones de radar.

Los mástiles radiantes y en general todas las antenas de polarización vertical como, por ejemplo, las de tipo látigo o bicónicas generan esencialmente un campo de onda de espacio y son caros y muy poco discretos.

25 La solicitud de patente EP 1594186 A1 presentada por el solicitante desvela una antena de tierra de grandes dimensiones para la radiación de una onda de superficie kilométrica o hectométrica. Esta antena comprende un plano de masa metálico, un bucle de excitación metálico y un elemento de conexión metálico. El plano de masa está embebido horizontalmente cerca y debajo de la superficie del suelo. El bucle de excitación tiene una longitud superior a 25 m aproximadamente para las longitudes de ondas kilométricas y hectométricas y está abierto entre dos extremos y se extiende en paralelo al plano de masa y en horizontal por encima de la superficie del suelo a una altura superior a 2 m aproximadamente con respecto al plano de masa. El elemento de conexión metálico es perpendicular al bucle y conecta uno de los extremos del bucle de excitación con el plano de masa. El bucle de excitación y el elemento de conexión están constituidos cada uno por al menos un elemento cilíndrico delgado.

35 La discontinuidad entre el aire y el suelo, situada sobre y en el suelo en la periferia de la antena, entre el par formado por el suelo y el plano de masa metálico, por una parte, y el suelo sin el plano de masa metálico, por otra parte, favorece la propagación de una onda de tierra omnidireccional en polarización vertical. La abertura del bucle de excitación es pequeña con respecto a la longitud del bucle para eliminar sustancialmente toda componente de campo eléctrico horizontal a la superficie del suelo. La onda de tierra se debe a la inyección de corrientes elevadas en el suelo, a consecuencia de una baja resistencia óhmica de la antena, sin ninguna radiación lateral de una onda de espacio en comparación con una antena de mástil.

45 Aunque la solicitud de patente EP 1594186 A1 pretende favorecer claramente la propagación por ondas de superficie y reducir al mínimo la radiación de una onda de espacio por medio de los mástiles radiantes, para evitar especialmente acoplamientos de la antena con las estructuras próximas de la antena por encima del suelo, la antena de tierra genera una onda de espacio no despreciable para ángulos cercanos a la normal al plano de suelo. Esta onda de espacio tiene una potencia mucho más baja que la de la onda de superficie y es evanescente a algunas decenas de kilómetros por encima de la superficie del suelo. Según las bandas de frecuencias, la onda de espacio puede reflejarse en las capas de la ionosfera y será causante de fenómenos de desvanecimiento en combinación con una onda de superficie. Cuando la antena funciona en emisión, la onda de espacio puede perturbar señales útiles recibidas de la ionosfera por otras antenas. De modo inverso, el funcionamiento en recepción de la antena puede verse perturbado por una recuperación de ondas de espacio.

55 Además, la antena de tierra presenta unas dimensiones superficiales importantes y una banda de paso relativamente estrecha.

60 La presente invención tiene como objeto paliar los diferentes problemas citados anteriormente y en particular suministrar una antena de ondas de superficie de grandes dimensiones que presente una protección ionosférica aumentada para distancias cortas y medias, así como una estructura propicia a una reducción de las dimensiones de la antena según al menos una dimensión del espacio y a una ampliación de la banda de paso.

65 Para alcanzar este objetivo, una antena de ondas de superficie que comprende un bucle de excitación metálico que puede colocarse a una altura de al menos 1 m aproximadamente por encima de la superficie de un medio conductor y un medio de alimentación que puede conectarse con el medio conductor, teniendo el bucle una longitud de $\lambda/2$ aproximadamente y designando λ la longitud de onda de funcionamiento de la antena, se caracteriza porque el bucle

de excitación comprende dos partes sustancialmente paralelas y separadas como máximo $\lambda/50$ aproximadamente y que pueden extenderse sustancialmente en paralelo a la superficie del medio conductor en un plano sustancialmente perpendicular a dicha superficie y ser recorridas por corrientes de sentidos opuestos, comprendiendo la parte más próxima a dicha superficie una abertura entre extremos del bucle conectados con el medio de alimentación.

Dichas dos partes del bucle de excitación según la invención son las partes inferior y superior con respecto a la superficie del medio conductor, tal como la tierra o el mar, y pueden constituir aproximadamente las mitades del bucle, teniendo las partes restantes del bucle, cada una, una longitud como máximo de $\lambda/50$ aproximadamente. El bucle de excitación está compuesto así en una parte muy importante por uno o varios pares de partes inferior y superior que se extienden cada una en un plano sustancialmente perpendicular a la superficie del medio conductor, estando dispuestas las partes inferior y superior de un par en el bucle de tal manera que sirvan de asiento a corrientes de sentidos opuestos. Estas condiciones favorecen claramente la propagación de una onda de tierra omnidireccional en polarización vertical, denominada onda de superficie, en la discontinuidad entre el aire y el medio conductor, en la periferia del bucle, en detrimento de toda onda de espacio según un eje cenital central al bucle. La antena emite así muy poca radiación de onda de espacio en la dirección de un eje cenital central a la antena en particular porque circulan corrientes en sentido inverso, es decir, casi en oposición de fase, en partes inferior y superior paralelas de gran dimensión. Se reduce así muy significativamente la contribución de las componentes de campo horizontales para ángulos cercanos al eje cenital central en la antena.

La abertura del bucle de excitación es muy pequeña en relación con el perímetro del bucle para eliminar sustancialmente toda componente de campo eléctrico paralela a la superficie del medio conductor, y por tanto horizontal.

Al igual que la antena según la solicitud de patente EP 1594186 A1, la antena de la invención es muy discreta e insensible a toda clase de vientos, corrientes, rayos, seísmos o explosiones. La antena presenta también una superficie de eco de radar (SER) muy baja. Según una realización, el bucle de excitación puede ser plano y estar contenido en un plano sustancialmente perpendicular a la superficie del medio conductor. Por ejemplo, el bucle de excitación puede ser rectangular y comprender dos lados largos formados por las dos partes inferior y superior y de una longitud como máximo de $\lambda/4$ aproximadamente

Según un aspecto de la invención, las dimensiones de la antena pueden reducirse siguiendo las direcciones longitudinales de la antena mediante uno o varios plegados de las partes largas del bucle de excitación en planos perpendiculares a la superficie del medio conductor. En este caso, el bucle de excitación puede dividirse aproximadamente en dos semibucles que se superponen en dos planos sustancialmente paralelos a la superficie del medio conductor y que están separados como máximo $\lambda/50$ y tienen cada uno dos partes sustancialmente paralelas susceptibles de ser recorridas por corrientes de sentidos opuestos. Cada uno de los semibucles puede comprender más de dos partes sustancialmente paralelas, de manera que dos partes adyacentes en cada semibucle son de tal forma que pueden ser recorridas por corrientes de sentidos opuestos y dos partes superpuestas de los semibucles pueden ser recorridas por corrientes de sentidos opuestos.

Según algunas realizaciones de antena "plegada", el bucle de excitación puede circunscribirse a un paralelepípedo que tiene caras mayores sustancialmente paralelas a la superficie del medio conductor. El paralelepípedo puede ser recto. Por ejemplo, cada uno de los semibucles puede extenderse en zigzag en una de las caras mayores. Según otro ejemplo, cada uno de los semibucles puede comprender dos espirales planas rectangulares que tienen sentidos opuestos y un centro común y que se extienden en una de las caras mayores. Según otra realización de antena plegada, el bucle de excitación se circunscribe a un cilindro que tiene bases sustancialmente paralelas a la superficie del medio conductor, y cada uno de los semibucles comprende dos espirales planas circulares que tienen sentidos opuestos y un centro común y que se extienden en una de las bases.

Para reducir el acoplamiento especialmente entre partes inferior y superior sustancialmente paralelas, o partes sustancialmente paralelas en un semibucle, y por tanto más en general entre los semibucles superpuestos, dos partes del bucle de excitación sustancialmente paralelas, superpuestas y adyacentes pueden estar separadas por al menos $\lambda/200$ aproximadamente.

Con el fin de ampliar la banda de paso de la antena, la antena puede comprender al menos un elemento intermedio metálico que está conectado con partes inferior y superior del bucle de excitación superpuestas en un plano que puede ser sustancialmente perpendicular a la superficie del medio conductor y que está situado cerca de los lados cortos del bucle de excitación sustancialmente perpendiculares a las partes superpuestas.

En lo que respecta al medio de alimentación de la antena, puede comprender un dispositivo de fuente de alimentación tal como un dispositivo de emisión si la antena funciona en emisión, o un dispositivo de recepción si la antena funciona en recepción, y uno o dos elementos de conexión metálicos sustancialmente verticales que conectan el medio de alimentación con el medio de propagación. Según una primera realización, el medio de alimentación sólo comprende un elemento de conexión metálico, que puede incluir una impedancia terminal, para

conectar el bucle de excitación con el medio conductor; los bornes del dispositivo de fuente de alimentación están conectados a los extremos del bucle, y el elemento de conexión metálico tiene un extremo conectado con el borne negativo del dispositivo de alimentación y otro extremo que puede conectarse con el medio conductor. Según una segunda realización, el medio de alimentación comprende dos elementos de conexión metálicos para conectar el bucle de excitación con el medio conductor; un elemento de conexión metálico tiene un extremo conectado a uno de los extremos del bucle y otro extremo que puede conectarse con el medio conductor, el dispositivo de fuente de alimentación tiene un borne positivo conectado con el otro extremo del bucle, y otro elemento de conexión metálico que puede incluir una impedancia terminal tiene un extremo conectado con un borne negativo del dispositivo de alimentación y otro extremo que puede conectarse con el medio conductor.

Cuando el medio conductor presenta una conductividad eléctrica baja, la invención lo resuelve para conservar las propiedades de radiación por ondas de superficie de la antena embebiendo un elemento de masa metálico cerca y debajo de la superficie del medio conductor y teniendo una superficie al menos igual a la proyección de la superficie del bucle de excitación en la superficie del medio conductor. Un elemento de conexión metálico, que es único según la primera realización, o que es uno u otro de los elementos de conexión metálicos según la segunda realización, tiene entonces su extremo susceptible de conexión con el medio conductor, que está conectado con el elemento de masa metálico.

Otras características y ventajas de la presente invención se desprenderán más claramente a partir de la lectura de la siguiente descripción de varias realizaciones de la invención, ofrecidas a modo de ejemplos no limitativos, en referencia a los dibujos adjuntos correspondientes en los que:

- la figura 1 es una vista frontal vertical esquemática de una antena con un bucle rectangular y un circuito de alimentación según una primera realización de la invención, que presenta un elemento de conexión único conectado con un medio conductor de conductividad eléctrica elevada;

- la figura 2 es una vista frontal vertical esquemática de una antena con un bucle rectangular según la primera realización y un circuito de alimentación según una segunda realización de la invención, que presenta dos elementos de conexión conectados con un medio conductor de conductividad eléctrica elevada;

- las figuras 3 y 4 son vistas frontales verticales esquemáticas de una antena respectivamente según variantes de las realizaciones mostradas en las figuras 1 y 2, para un medio conductor de conductividad eléctrica baja;

- la figura 5 es una vista frontal vertical esquemática de una antena según otra variante de la antena mostrada en la figura 1, destinada a ampliar la banda de paso de la antena;

- la figura 6 es una vista en perspectiva esquemática de una antena con un bucle según una segunda realización de la invención que está destinado a reducir las dimensiones longitudinales de la antena en comparación con la primera realización del bucle, mediante plegado según un eje cenital central al bucle de la figura 1;

- las figuras 7 y 8 son respectivamente una vista frontal delantera y una vista lateral derecha según planos verticales perpendiculares XOZ e YOZ de la antena mostrada en la figura 6;

- la figura 9 es una vista en perspectiva esquemática de una antena con un bucle plegado según una tercera realización de la invención, destinado a reducir aún más las dimensiones longitudinales de la antena;

- las figuras 10, 11 y 12 son respectivamente una vista desde arriba, una vista frontal delantera y una vista lateral derecha de la antena mostrada en la figura 9;

- la figura 13 es una vista en perspectiva esquemática de una antena con un bucle contenido en un paralelepípedo y plegado siguiendo las espirales de Arquímedes según una cuarta realización de la invención; y

- las figuras 14 y 15 son respectivamente una vista desde arriba y una vista frontal delantera de la antena mostrada en la figura 13;

- la figura 16 es una vista en perspectiva esquemática de una antena con un bucle contenido en un cilindro y plegado siguiendo las espirales de Arquímedes según una quinta realización de la invención; y

- las figuras 17 y 18 son respectivamente una vista desde arriba y una vista lateral de la antena mostrada en la figura 16.

En referencia en la figura 1, una antena de ondas de superficie según la invención es apta para funcionar a una longitud de onda útil λ de emisión o de recepción. La longitud de onda útil λ corresponde a la frecuencia central de la banda de paso de la antena que corresponde al menos parcialmente a longitudes de onda kilométricas y/o hectométricas y/o decamétricas.

La antena según la primera realización comprende esencialmente un bucle de excitación metálico B1 sustancialmente vertical y un circuito de alimentación que comprende un dispositivo de fuente de alimentación A y un elemento de conexión conductor metálico L1n, sustancialmente vertical, que conecta el bucle de excitación con un medio conductor M de superficie SM. El término "sustancialmente vertical" significa que el bucle de excitación o el elemento de conexión puede extenderse en un plano perpendicular a la superficie SM o en un plano oblicuo que forma un ángulo de pocos grados con un plano perpendicular a la superficie SM; los términos "sustancialmente horizontal", o bien "sustancialmente paralelo" y "sustancialmente perpendicular" empleados en la presente descripción tienen un significado similar con respecto a un plano o una recta horizontales, o bien con respecto a un plano o una recta determinados.

El medio conductor M actúa como un vector de propagación de ondas de superficie emitidas o recibidas por la antena. El medio M puede tener una conductividad eléctrica elevada como el mar, una marisma salobre o un lago salado, o una conductividad eléctrica más baja, como la tierra o la arena.

En la descripción que se ofrece a continuación, un signo de referencia a los dibujos que comprenda la letra p, respectivamente n, designa un elemento o una parte de elemento o de bucle de excitación conectado con el borne positivo, respectivamente negativo, del dispositivo de alimentación A o situado en el lado de éste a lo largo del bucle de excitación.

El bucle de excitación metálico B1 se extiende sustancialmente en vertical por encima de la superficie SM a una altura comprendida entre h y H. Según la realización ilustrada en la figura 1, el bucle B1 es rectangular y está compuesto por dos lados largos I1p-I1n y S1 sustancialmente horizontales y dos lados sustancialmente verticales V1p y V1n claramente más pequeños. El lado largo inferior I1p-I1n está situado a la altura h con respecto a la superficie SM. El lado largo superior S1 está situado a la altura H con respecto a la superficie SM. La diferencia de altura H - h es la longitud de los lados cortos V1p y V1n que es al menos igual a $\lambda/200$ aproximadamente de forma que se reduzca el acoplamiento entre los lados largos I1p-I1n y S1 del bucle en el origen de la creación de un modo de transmisión para línea bifilar que disminuye el rendimiento de la antena. Con el fin de emitir muy poca radiación de ondas de espacio en la dirección de un eje cenital central Z1-Z2 al bucle B1, la diferencia de altura H - h es como máximo igual a $\lambda/50$ aproximadamente de forma que los lados largos I1p-I1n y S1 del bucle B1 se encuentren próximos y las corrientes en los mismos sean de sentidos opuestos. Tal como se verá mediante la descripción de las otras realizaciones de antena, la forma del bucle no está limitada a un rectángulo y se determina en función de la pureza de la polarización esencialmente vertical de una onda de superficie y la omnidireccionalidad en la superficie SM deseadas para la antena.

La altura H es de al menos 2 m aproximadamente para las ondas kilométricas y hectométricas y de al menos 1 m aproximadamente para las ondas decamétricas. La distancia media $(H + h)/2$ entre el bucle B1 y la superficie SM no debe ser demasiado elevada con el fin de acoplar la mayor cantidad posible de energía radioeléctrica a la superficie SM para que la antena emita una onda de superficie por encima de la superficie SM. Las alturas h y H no son necesariamente constantes en la longitud del bucle, al igual que la diferencia H - h que no es necesariamente constante; en consecuencia los lados largos I1p-I1n y S1 son "sustancialmente paralelos" entre sí y cada uno de ellos es "sustancialmente paralelo" a la superficie SM. La discontinuidad entre el aire y el medio conductor M en la periferia del bucle de excitación favorece una polarización vertical del campo eléctrico con respecto a la cual la componente de campo eléctrico horizontal es despreciable en la propagación de onda de superficie por la antena, tanto más cuando el bucle de excitación es regular y casi cerrado. Las líneas de campo eléctrico están distribuidas de forma casi uniforme hacia todos los azimuts alrededor del eje Z1-Z1 del bucle lo que significa que la antena es omnidireccional.

Normalmente el bucle tiene un perímetro igual a la semilongitud de onda útil $\lambda/2$, $\pm \lambda/8$ aproximadamente, es decir, una longitud $L/2 \approx \lambda/4$ de los lados largos I1p-I1n y S1 del orden de 25 m a 250 m para una frecuencia central hectométrica de la banda útil. Según otras realizaciones, la forma del bucle de excitación B1 es longilínea y poligonal o elíptica de manera que dos partes largas tales como los lados largos I1p-I1n y S1 sean sustancialmente paralelas en un plano sustancialmente perpendicular a la superficie SM del medio conductor M. Sin embargo, para emitir muy pocas ondas de espacio en la dirección de un eje cenital central Z1-Z1 del bucle, el perfil del bucle se diseña de manera que las partes del bucle, tales como los lados I1p-I1n y S1 de un bucle rectangular, situadas sustancialmente en paralelo a la superficie SM y de dimensiones al menos superiores a $\lambda/50$ aproximadamente sean asiento de corrientes de sentidos opuestos.

El lado largo inferior I1p-I1n está constituido por dos partes sustancialmente colineales I1p y I1n entre los extremos al lado de E1p y E1n del bucle B1 que delimitan una pequeña abertura E1p-E1n cuya anchura es muy pequeña en comparación con la longitud de onda λ . La abertura E1p-E1n puede realizarse en cualquier lugar en el curso del lado largo I1p-I1n. Según la figura 1, la abertura E1p-E1n está en la parte central del lado largo inferior I1p-I1n. Teniendo en cuenta la estrechez de la abertura con respecto a la longitud del bucle, el bucle se considera "cerrado".

El bucle de excitación B1 puede estar sostenido en un plano perpendicular a la superficie SM por postes aislantes (no representados) distribuidos regularmente a lo largo del bucle. Por ejemplo cada poste sostiene a la vez los lados

largos l_{1p} - l_{1n} y S_1 . Los postes aislantes pueden estar fijos en el medio conductor M si la profundidad del medio se presta a ello, o estar fijos a un soporte flotante en la superficie SM si el medio es el agua.

Según la aplicación que se pretenda y las potencias de utilización, el bucle de excitación B1 se realiza en forma de tubo o de hilo metálico multifilar o monofilar.

El elemento de conexión conductor L_{1n} es sustancialmente vertical y conecta el E_{1n} de los extremos del bucle B1 en el nivel de la abertura E_{1p} - E_{1n} con el medio conductor M. El elemento L_{1n} contiene el bucle B1 en el medio conductor M situado bajo la superficie SM. El elemento L_{1n} puede estar constituido por una pica o un tubo metálico de diámetro comprendido preferentemente entre 5 y 50 mm y que tiene un extremo inferior que se sumerge varias decenas de centímetro en el medio conductor M bajo la superficie SM.

La constitución material del bucle de excitación y del elemento de conexión puede ser realizada también según otras variantes descritas en la solicitud de patente EP-1.594.186-A1, tales como una disposición en capa o una jaula de hilos metálicos paralelos.

El elemento de conexión L_{1n} puede incluir una impedancia terminal Z_t que es opcional y que puede ser sustituida por un simple cortocircuito. La impedancia terminal puede ser reactiva o resistiva. Puede ser regulable según las necesidades para ajustar la frecuencia de funcionamiento de la antena correspondiente a λ , ajustar la banda de paso de la antena o ajustar la impedancia de entrada de la antena. La influencia del carácter capacitivo y/o inductivo y/o resistivo de la impedancia terminal Z_t en las características de funcionamiento de la antena, tales como la frecuencia de funcionamiento, la banda de paso y la adaptación de impedancia, es similar a la descrita en la solicitud de patente EP-1.594.186-A1.

El dispositivo de fuente de alimentación A alimenta el bucle B1 y puede ser un dispositivo de emisión o de recepción dependiendo de que la antena funcione en emisión o en recepción. Según la figura 1, el dispositivo de alimentación A tiene los bornes positivo y negativo conectados respectivamente a los extremos E_{1p} y E_{1n} del bucle B1 en el nivel de la abertura E_{1p} - E_{1n} , en su caso mediante uno o dos elementos intermedios metálicos L_{2p} y L_{2n} que pueden ser cables eléctricos o tener una constitución similar a la del elemento de conexión L_{1n} . En una realización en particular, al menos uno de los elementos intermedios L_{2p} y L_{2n} tiene una longitud nula y el borne correspondiente del dispositivo de alimentación A está conectado directamente a un extremo del bucle de excitación B1.

Según la segunda realización mostrada en la figura 2, otro elemento de conexión conductor L_{3n} conecta el borne negativo del dispositivo de alimentación A al medio conductor M situado bajo la superficie SM, como el segundo extremo del elemento de conexión L_{1n} opuesto al extremo E_{1n} del bucle de excitación B1 y que se sumerge en el medio conductor M bajo la superficie SM. Las longitudes de los elementos de conexión L_{2p} y L_{3n} están determinadas de manera que la parte real de la impedancia de la antena llevada a los bornes del dispositivo de alimentación A sea igual a la impedancia característica del dispositivo de alimentación.

En las variantes de las realizaciones ilustradas en las figuras 1 y 2, la antena se aprovecha sobre un medio conductor imperfecto M de baja conductividad eléctrica tal como tierra o arena, situado bajo la superficie SM, tal como se muestra en las figuras 3 y 4. En estas variantes, un elemento de masa metálico EM está embebido cerca y debajo de la superficie SM. El elemento de masa metálico EM está conectado con el segundo extremo del elemento de conexión L_{1n} según la figura 3 que corresponde a la primera realización del circuito de alimentación, o a los extremos de los elementos de conexión L_{3n} y L_{1n} en el medio M según la figura 4 que corresponde a la segunda realización del circuito de alimentación. La profundidad a la que está embebido el elemento de masa EM por debajo de la superficie SM es relativamente pequeña, de varias decenas de centímetros aproximadamente, con lo que favorece una onda de superficie por encima de la superficie SM y desfavorece cualquier onda guiada bajo la superficie SM. El elemento de masa EM puede ser un hilo o una barra metálica, o una placa maciza o enrejada según las realizaciones descritas en la solicitud de patente EP 1594186 A1. Garantiza una excelente continuidad eléctrica con el fin de contribuir al carácter omnidireccional de la antena y conservar así las propiedades de radiación por ondas de superficie de la antena. Cuando el medio conductor M es en particular el agua de mar, el elemento de masa P puede ser de metal galvanizado o recubierto de una vaina de plástico, y ser insensible a los ataques químicos en el medio M.

El elemento de masa EM puede presentar diversos contornos de tipo circular o poligonal con el fin de que recubra una superficie al menos igual, o incluso muy superior, a la proyección de la superficie del bucle de excitación en la superficie SM. Esta característica evita efectos de bordes de campo eléctrico entre el bucle de excitación y el elemento de masa y mejora el confinamiento de las líneas de campo eléctrico bajo el bucle de excitación. Para un bucle de excitación que se extiende en un plano vertical XOZ tal como se representa en las figuras 3 y 4, el elemento plano EM tiene una longitud al menos igual a la longitud $L/2$ de los lados largos l_{1p} - l_{1n} y S_1 del bucle B1, es decir, superior a aproximadamente la semilongitud del bucle, y una anchura como mínimo de varias decenas de centímetros.

Según una variante de la primera realización del bucle B1, al menos un elemento intermedio metálico V_{ip} , V_{in} está conectado, por ejemplo, por soldadura a los lados largos l_{1p} - l_{1n} y S_1 del bucle de excitación B1, tal como se

muestra en la figura 5. El elemento intermedio metálico es sustancialmente perpendicular a los lados largos y puede tener una constitución similar a la del bucle B1. En una variante, se colocan uno o varios elementos intermedios Vip en un único lado del bucle B1 con respecto a la abertura E1p-E1n del bucle, y/o se colocan uno o varios elementos intermedios Vin en el otro lado del bucle con respecto a la abertura. Los elementos intermedios metálicos Vip y Vin están situados cerca de los extremos longitudinales del bucle de excitación B1, por ejemplo a algunos metros de los lados cortos V1p y V1n. Los elementos intermedios están destinados a ampliar la banda de paso de la antena en torno a la frecuencia de resonancia de la antena, sin modificaciones significativas de las características de radiación de la antena.

Aunque las antenas descritas a continuación y mostradas en las figuras 5 a 18 comprenden un circuito de alimentación según la primera realización mostrada en la figura 1, los circuitos de alimentación mostrados en las figuras 2, 3 y 4 están preparados para alimentar los bucles de excitación de estas antenas. Cada uno de estos bucles de excitación puede comprender uno o varios elementos intermedios tales como los elementos Vip y Vin mostrados en la figura 5, entre las partes inferior y superior del bucle de excitación, o más en general entre los "semi"-bucles inferior y superior del bucle de excitación, para ampliar la banda de paso de las antenas.

En referencia a continuación a las figuras 6 a 8, el bucle de excitación B2 de una antena según la segunda realización se basa en un plegado de una primera mitad del bucle de excitación B1 que comprende la parte l1n del lado largo inferior, el lado corto V1n y una mitad del lado largo superior S1 hacia la segunda mitad del bucle B1 alrededor del eje cenital central Z1-Z1 del bucle B1, tal como se indica mediante la flecha F2 en la figura 5. El bucle B2 comprende así aproximadamente dos "semi"-bucles en las caras delantera (figura 7) y trasera o las caras inferior y superior de un paralelepípedo largo y estrecho sustancialmente recto. Este paralelepípedo que rodea al bucle B2 tiene una longitud de $L/4$ aproximadamente y una altura $H - h$. El paralelepípedo se extiende no sólo longitudinalmente según un plano vertical XOZ (figura 7), sino también lateralmente según un plano vertical YOZ (figura 8) perpendicular al plano XOZ. Dos partes longitudinales superiores S2p y S2n del bucle B2 que corresponden a las dos mitades de la parte superior S1 del bucle B1 están conectadas por una parte horizontal corta S21p. El extremo de la parte inferior l2n del bucle B2 que corresponde a la parte superior l1n del bucle B1 doblada hacia atrás está conectado por una parte horizontal corta l21n que es paralela a la parte S21p y está situado con ésta en un lado vertical lateral del paralelepípedo. Desde el extremo E2p del bucle de excitación B2 conectado con el borne positivo del dispositivo de alimentación A, el bucle B2 comprende una parte inferior longitudinal larga l2p, una parte vertical corta V2p de altura $H - h$, una parte superior longitudinal larga S2p situada por encima de la parte l2p y que delimita con las partes l2p y V2p la cara delantera del paralelepípedo, una parte lateral corta S21 p, una parte superior longitudinal larga S2n y que delimita con las partes S2p y S21p la cara superior del paralelepípedo, una parte vertical corta V2n de altura $H - h$ situada con la parte corta V2p en un plano perpendicular a las partes longitudinales, una parte inferior longitudinal larga l2n situada encima de la parte S2n y que delimita con las partes S2n y V2n la cara trasera del paralelepípedo, y una parte lateral corta l21n situada encima de la parte S21p, que delimita con las partes l2p y l2n la cara inferior del paralelepípedo y terminada por el otro extremo E2n del bucle de excitación B2.

La longitud de las partes laterales sustancialmente horizontales l21n y S21p define la anchura W del bucle B2 en un plano vertical YOZ que es muy inferior a λ de manera que las dos partes paralelas situadas en cada una de las caras longitudinales del paralelepípedo sean recorridas sustancialmente por corrientes de sentidos opuestos. En estas condiciones, las componentes secundarias del campo eléctrico generadas en planos horizontales están restringidas muy acusadamente según direcciones cercanas al eje cenital central Z2-Z2 del bucle B2. La longitud de las partes laterales l21n y S21p es sin embargo al menos igual a $\lambda/200$ aproximadamente con el fin de evitar acoplamientos demasiado elevados entre las partes longitudinales l2p y l2n y S2p y S2n que conllevan una disminución importante del rendimiento de la antena. La envolvente del bucle de excitación plegado B2 es en este caso más larga que la envolvente del bucle de excitación B1. Para una misma frecuencia de resonancia, la longitud de la envolvente del bucle plegado B2 presentada en la figura 6 es función de la longitud de las partes l21n y S21p. La banda de paso está igualmente reducida en virtud del aumento del factor de calidad de la antena. Sin embargo esta reducción de banda de paso puede ser compensada por la adición de elementos metálicos intermedios Vip entre las partes inferior l2p y superior S2p y/o de elementos metálicos intermedios Vin entre las partes inferior l2n y superior S2n, tal como se muestra en la figura 5.

El principio del plegado del bucle de excitación en sí mismo, tal como se presenta en las figuras 6 a 8, puede extenderse a múltiples plegados sucesivos por medio de un aumento proporcional de la envolvente de la antena y una reducción de la banda de paso para una misma frecuencia de resonancia.

En referencia a las figuras 9 a 12, el bucle de excitación B3 de una antena según la tercera realización se basa en los plegados de los tercios situados a la izquierda y a la derecha del bucle B1 en la figura 5 respectivamente hacia delante y hacia atrás del tercio central del bucle B1. El tercio a la izquierda del bucle de excitación B3 está situado en un plano vertical anterior situado delante del tercio central del bucle B1 después del plegado alrededor de un eje cenital del bucle B1 situado en el extremo izquierdo del tercio central, tal como se indica mediante la flecha F3p en la figura 5. El tercio a la derecha del bucle de excitación B3 está situado en un plano vertical posterior situado detrás del tercio central del bucle B1 después del plegado alrededor de un eje cenital del bucle B1 situado en el extremo derecho del tercio central, tal como se indica mediante la flecha F3n en la figura 5. El bucle de excitación B3 según

la tercera realización comprende así aproximadamente tres tercios 13p-S3p (figura 11), I3cp-I3cn-S3c y 13n-S3n de bucle en cada una de caras verticales delantera, central y trasera de un paralelepípedo estrecho sustancialmente recto. Este paralelepípedo que rodea al bucle B3 tiene una longitud de $L/6$ aproximadamente y una altura $H - h$. El bucle B3 está constituido aproximadamente por dos "semi"-bucles I3p-I3cp-I3cn-I3n y S3p-S3c-S3n (figura 11) en cada una de las caras mayores horizontales inferior y superior del paralelepípedo largo. Un extremo izquierdo de la parte inferior delantera I3p del bucle B2 que corresponde al tercio a la izquierda de la parte inferior I1p del bucle B1 doblada hacia delante y un extremo izquierdo de la parte superior delantera S3p del bucle B2 que corresponde al tercio a la izquierda de la parte superior S1p del bucle B1 doblada hacia delante están conectados respectivamente por dos partes laterales horizontales cortas I31p y S31p que son paralelas y están situadas en un lado vertical izquierdo del paralelepípedo. Un extremo derecho de la parte inferior trasera 13n del bucle B2 que corresponde al tercio a la derecha de la parte inferior I1n del bucle B1 doblada hacia atrás y un extremo derecho de la parte superior trasera S3n del bucle B2 que corresponde al tercio a la derecha de la parte superior S1p del bucle B1 doblada hacia atrás están conectados respectivamente por dos partes laterales horizontales cortas I31n y S31n que son paralelas y están situadas en un lado vertical derecho del paralelepípedo. Desde el extremo E3p del bucle de excitación B3 conectado con el borne positivo del dispositivo de alimentación A, el bucle B3 comprende la "semi"-parte longitudinal central inferior I3cp, la parte lateral inferior corta I31p, la parte inferior delantera longitudinal larga I3p, una parte vertical corta V3p de altura $H - h$, la parte superior delantera longitudinal larga S3p, la parte lateral superior corta S31p, la parte superior central longitudinal larga S3c, la parte lateral superior corta S31n, la parte superior trasera longitudinal larga S3n, una parte vertical corta V3n de altura $H-h$, la parte inferior trasera longitudinal larga 13n, la parte lateral inferior corta I31n y la "semi"-parte longitudinal horizontal central inferior 12n terminada por el otro extremo E3n del bucle de excitación B3.

La longitud de las partes laterales horizontales I31p, I31n, S31p y S31n define la semianchura W del bucle B3 en un plano vertical YOZ que está comprendida entre $\lambda/200$ y $\lambda/50$ y es por tanto muy inferior a λ de manera que las dos partes longitudinales paralelas situadas en cada una de las tres caras longitudinales delantera, intermedia y trasera y dos partes longitudinales paralelas adyacentes entre tres situadas en cada una de las dos caras longitudinales central y superior del paralelepípedo sean recorridas sustancialmente por corrientes de sentidos opuestos. Sin embargo, como una variante, la longitud de las partes laterales superpuestas I31p y S31p puede ser diferente de la longitud de las partes laterales superpuestas I31n y S31n, y la cara vertical que contiene las partes longitudinales paralelas I3cp, I3cn y S3c puede estar a distancias diferentes de las caras delantera y trasera. Estas condiciones optimizan la eficacia de radiación de la antena y reducen al mínimo la emisión o la recepción del campo electromagnético en las direcciones cercanas al eje cenital central de la antena.

En lugar de distribuir en zigzag las partes longitudinales en las caras inferior y superior como en el bucle B3, el bucle de excitación B4 de una antena según la cuarta realización mostrada en las figuras 13 a 15 comprende aproximadamente un "semi"-bucle inferior formado por dos espirales planas rectangulares 14p y 14n que tienen sentidos opuestos y un centro común y un "semi"-bucle superior formado por dos espirales planas rectangulares S4p y S4n que tienen sentidos opuestos y un centro común. Los semibucles I4p-I4n y S4p-S4n están circunscritos respectivamente a las caras mayores inferior y superior de un paralelepípedo sustancialmente recto de altura $H - h$, de longitud $5 \times p_1$ y de anchura $4 \times p_2$ según el ejemplo ilustrado en la figura 14. El paso longitudinal p_1 y el paso lateral p_2 de las espiras de las espirales pueden ser a priori diferentes y son claramente inferiores a λ , estando por ejemplo comprendidos entre $\lambda/120$ y $\lambda/80$. Las caras mayores inferior y superior del paralelepípedo son sustancialmente paralelas a la superficie SM del medio conductor M. Las espirales superiores S4p y S4n están sustancialmente superpuestas en vertical respectivamente a las espirales inferiores I4p y 14n. Las partes verticales cortas V4p y V4n del bucle de excitación B4 tienen una altura $H - h$ y conectan respectivamente los extremos periféricos de las espirales I4p y S4p y los extremos periféricos de las espirales 14n y S4n. En la realización ilustrada en las figuras 13 a 15, los extremos E4p y E4n de la abertura del bucle B4 situada en el centro del semibucle I4p-I4n, las espirales inferiores I4p y 14n y las espirales superiores S4p y S4n son respectivamente simétricas con respecto a un eje central cenital Z4-Z4 del bucle B4 que pasa por los centros de las espirales y de las caras inferior y superior del paralelepípedo.

En cada una de las caras mayores inferior y superior del paralelepípedo, la propiedad de que dos partes adyacentes longitudinales o transversales de los semibucles son recorridas por corrientes de sentidos opuestos se conserva. La reducción de las dimensiones del bucle de excitación B4 por arrollamiento del bucle sobre sí mismo es más reducida que en los bucles precedentes.

A modo de variante, en lugar de que el paso sea constante, el paso puede ser variable por ejemplo para formar espirales logarítmicas inferiores y superiores del bucle. Más en general, puede elegirse un paso variable para cada espira de los semibucles en la medida en que las restricciones en la distancia entre las espiras sean respetadas de forma que se conserve una eficacia de radiación significativa del mismo orden de magnitud que en los bucles B2 y B3 obtenidos por plegado.

El bucle B5 según la quinta realización mostrada en las figuras 15 a 18 comprende aproximadamente un semibucle inferior formado por dos espirales de Arquímedes circulares planas I5p y I5n que tienen sentidos opuestos y un centro común y un semibucle superior formado por dos espirales de Arquímedes circulares planas S5p y S5n que tienen sentidos opuestos y un centro común. Los semibucles I5p y I5n y S5p y S5n están circunscritos

- 5 respectivamente a las bases inferior y superior de un cilindro que tiene una altura $H - h$, un radio p y un eje cenital $Z5-Z5$ que pasa por los centros de las espirales y de la abertura $E5p-E5n$ del bucle $B5$ situado en el centro del semibucle inferior $I5p-I5n$. Las bases del cilindro son sustancialmente paralelas a la superficie SM del medio conductor M y son por ejemplo circulares o elípticas, o bien el cilindro es sustituido por un prisma de bases poligonales. Las partes verticales cortas $V5p$ y $V5n$ del bucle de excitación $B5$ tienen una altura $H - h$ y conectan respectivamente los extremos periféricos de las espirales $I5p$ y $S5p$ y los extremos periféricos de las espirales $I5n$ y $S5n$.

REIVINDICACIONES

1. Antena de ondas de superficie que comprende un bucle de excitación metálico (B1) susceptible de estar colocado a una altura (h) de al menos 1 m aproximadamente por encima de la superficie (SM) de un medio conductor (M) y un medio de alimentación (A, L1n) susceptible de estar conectado con el medio conductor, teniendo el bucle una longitud de $\lambda/2$ aproximadamente y designando λ la longitud de onda de funcionamiento de la antena, caracterizada porque el bucle de excitación (B1) comprende dos partes (I1p-I1n, S1) sustancialmente paralelas y separadas como máximo $\lambda/50$ aproximadamente y que pueden extenderse sustancialmente en paralelo a la superficie (SM) del medio conductor (M) en un plano sustancialmente perpendicular a dicha superficie y que pueden ser recorridas por corrientes de sentidos opuestos, comprendiendo la parte (I1p-I1n) más próxima a dicha superficie una abertura entre extremos (E1p, E1n) del bucle (B1) conectados con el medio de alimentación (A, L1n).
2. Antena según la reivindicación 1, en la que el bucle de excitación (B1) es rectangular y comprende dos lados largos formados por dichas dos partes (I1p-I1n, S1) y de una longitud como máximo de $\lambda/4$ aproximadamente.
3. Antena según la reivindicación 1, en la que el bucle de excitación (B2) está dividido aproximadamente en dos semibucles que se superponen en dos planos sustancialmente paralelos a la superficie (SM) del medio conductor (M) y separados como máximo $\lambda/50$ y que tienen cada uno dos partes (I2p, I2n; S2p, S2n) sustancialmente paralelas que pueden ser recorridas por corrientes de sentidos opuestos.
4. Antena según la reivindicación 3, en la que cada uno de los semibucles comprende más de dos partes sustancialmente paralelas (I3p, I3cp-I3cn, I3n; S3p, S3c, S3n; o I4p, I4n; S4p, S4n; o I5p, I5n; S5p, S5n), siendo dos partes adyacentes en cada semibucle susceptibles de ser recorridas por corrientes de sentidos opuestos y siendo dos partes superpuestas de los semibucles susceptibles de ser recorridas por corrientes de sentidos opuestos.
5. Antena según la reivindicación 4, en la que el bucle de excitación (B3) está circunscrito a un paralelepípedo que tiene caras mayores sustancialmente paralelas a la superficie (SM) del medio conductor (M), y cada uno de los semibucles (I3p-I3cp-I3cn-I3n, S3p-S3c-S3n) se extiende en zigzag en una de las caras mayores.
6. Antena según la reivindicación 4, en la que el bucle de excitación (B4) está circunscrito a un paralelepípedo que tiene caras mayores sustancialmente paralelas a la superficie (SM) del medio conductor (M), y cada uno de los semibucles comprende dos espirales planas rectangulares (I4p, I4n; S4p, S4n) que tienen sentidos opuestos y un centro común y que se extienden en una de las caras mayores.
7. Antena según la reivindicación 4, en la que el bucle de excitación (B5) está circunscrito a un cilindro que tiene bases sustancialmente paralelas a la superficie (SM) del medio conductor (M), y cada uno de los semibucles comprende dos espirales planas circulares (I5p, I5n, S5p, S5n) que tienen sentidos opuestos y un centro común y que se extienden en una de las bases.
8. Antena según una de las reivindicaciones 1 a 7, en la que dos partes (I1p-I1n, S1; I2p, I2n; S2p, S2n) del bucle de excitación (B1; B2) sustancialmente paralelas, superpuestas y adyacentes están separadas al menos $\lambda/200$ aproximadamente.
9. Antena según una de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende al menos un elemento intermedio metálico (Vip; Vin) que está conectado con partes (I1p-I1n, S1) del bucle de excitación (B1) superpuestas en un plano susceptible de ser sustancialmente perpendicular a la superficie (SM) del medio conductor (M) y que está situado cerca de los lados cortos (V1p, V1n) del bucle de excitación (B1) sustancialmente perpendiculares a las partes superpuestas.
10. Antena según una de las reivindicaciones 1 a 9, en la que el medio de alimentación comprende un dispositivo de fuente de alimentación (A) que tiene bornes positivo y negativo conectados con los extremos (E1p, E1n) del bucle (B1), y un elemento de conexión metálico (L1n) que tiene un extremo conectado con el borne negativo del dispositivo de alimentación y otro extremo susceptible de estar conectado con el medio conductor (M).
11. Antena según una de las reivindicaciones 1 a 9, en la que el medio de alimentación comprende un elemento de conexión metálico (L1n) que tiene un extremo conectado con uno (E1n) de los extremos del bucle (B1) y otro extremo susceptible de estar conectado con el medio conductor (M), un dispositivo de fuente de alimentación (A) que tiene un borne positivo conectado con el otro extremo (E1p) del bucle y un elemento de conexión metálico (L3n) que tiene un extremo conectado con un borne negativo del dispositivo de alimentación y otro extremo susceptible de estar conectado con el medio conductor (M).
12. Antena según la reivindicación 10 u 11, en la que el extremo de un elemento de conexión metálico (L1n; L3n) susceptible de estar conectado con el medio conductor (M) es susceptible de estar conectado con un elemento de masa metálico (EM) embebido cerca y debajo de la superficie (SM) del medio conductor (M) y que tiene una superficie al menos igual a la proyección de la superficie del bucle de excitación (B1) en la superficie del medio conductor.

FIG. 1

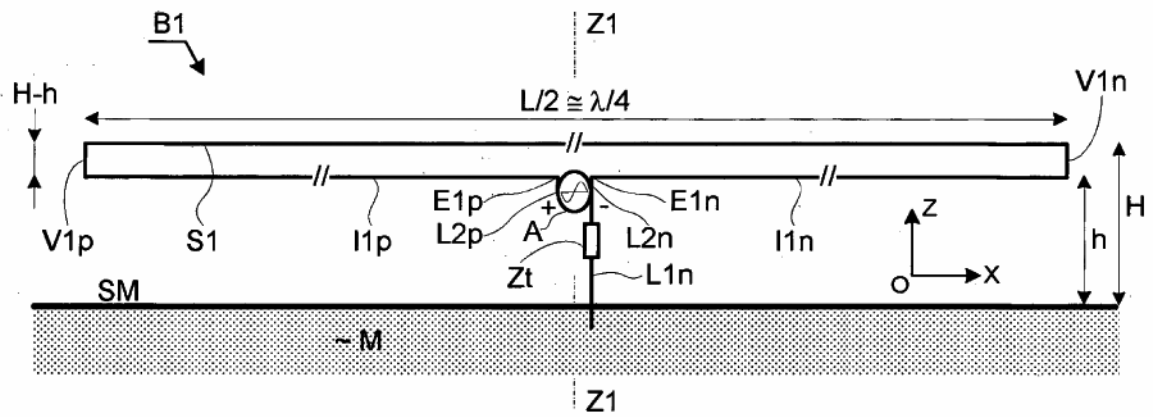


FIG. 2

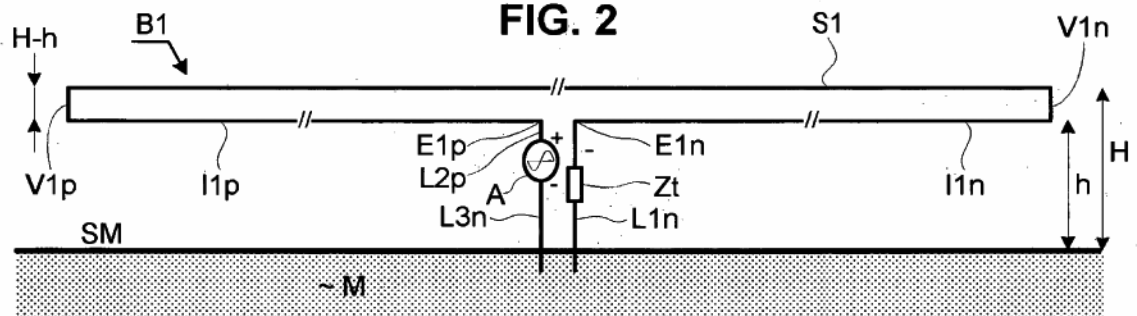


FIG. 3

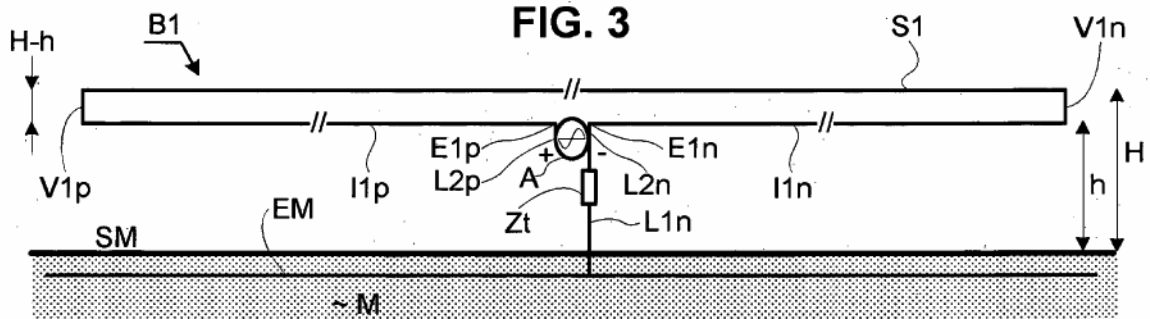


FIG. 4

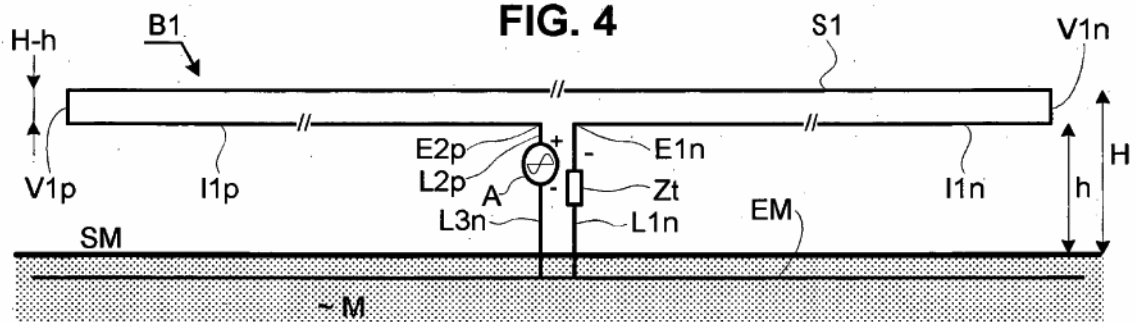


FIG. 5

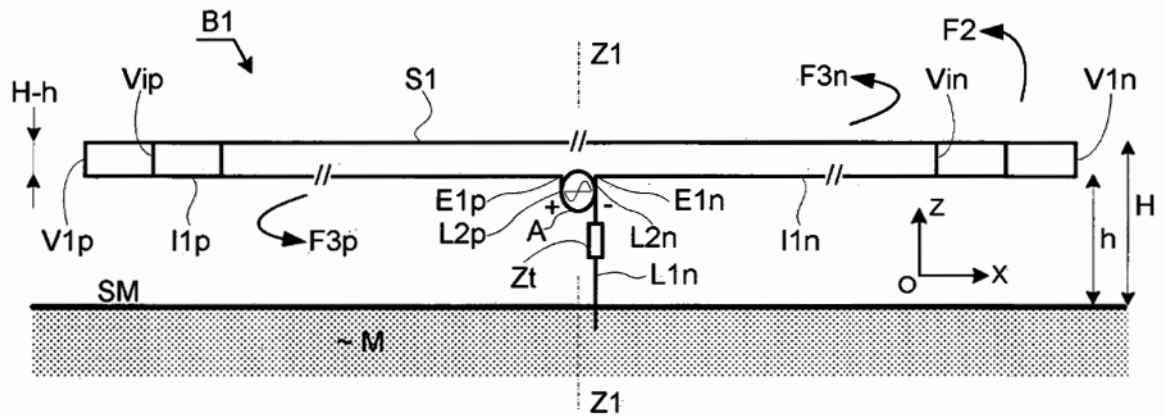


FIG. 6

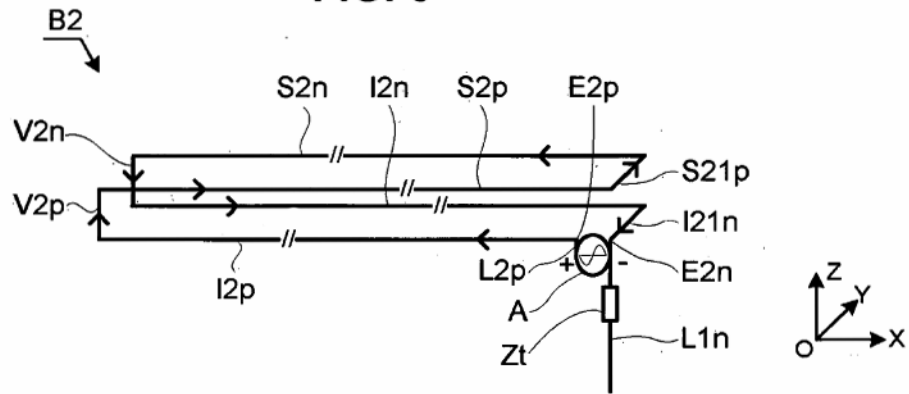


FIG. 7

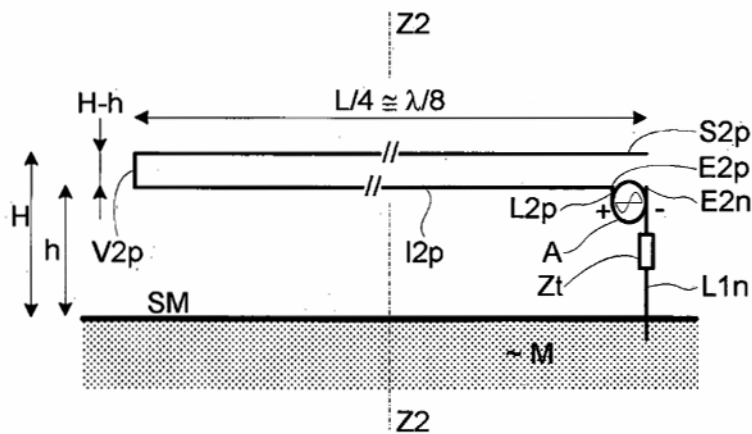


FIG. 8

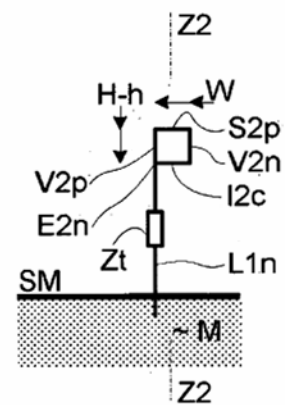


FIG. 9

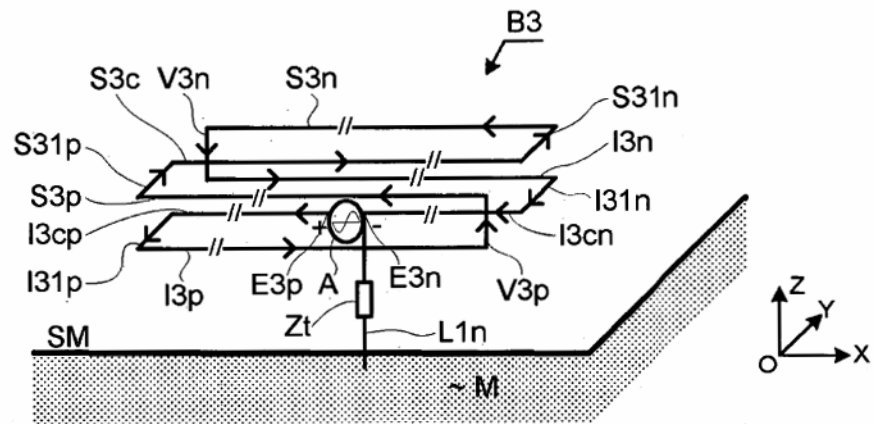


FIG. 10

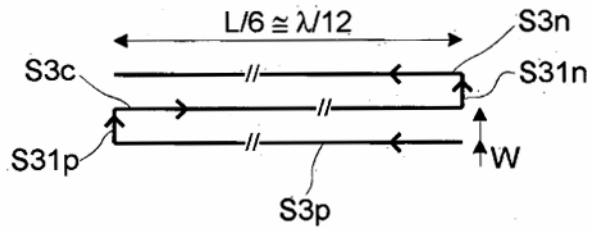


FIG. 11

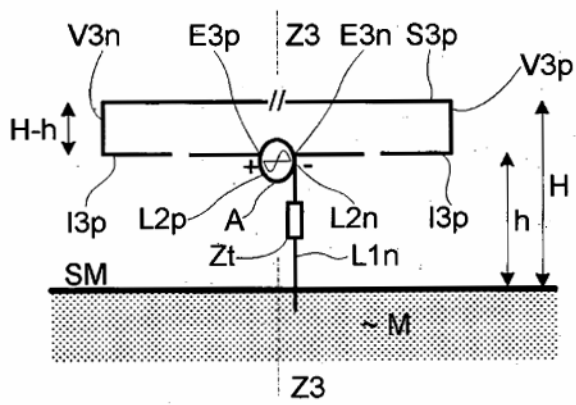


FIG. 12

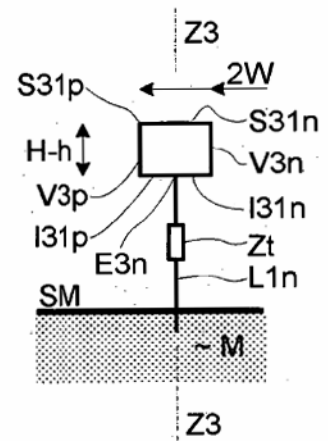


FIG. 13

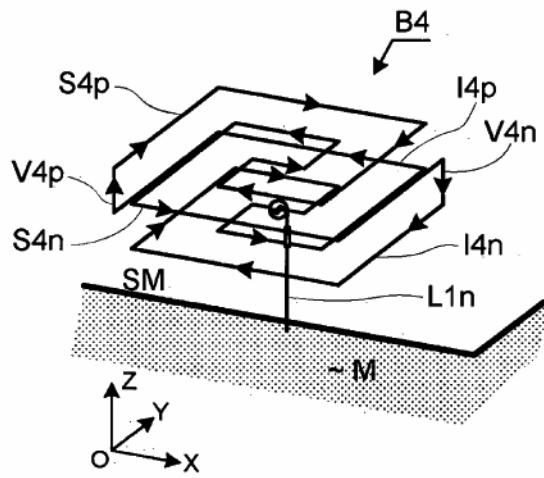


FIG. 16

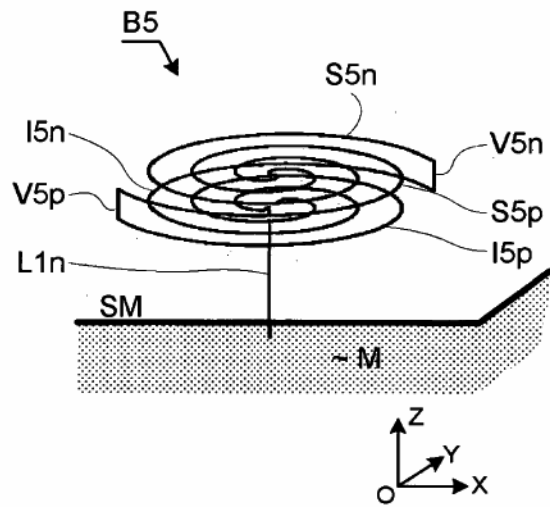


FIG. 14

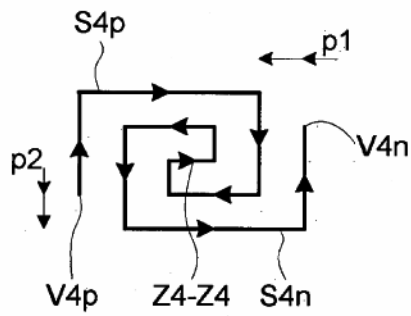


FIG. 17

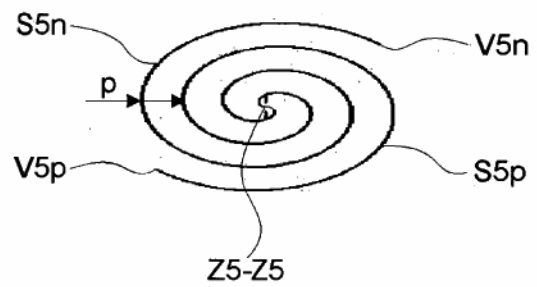


FIG. 15

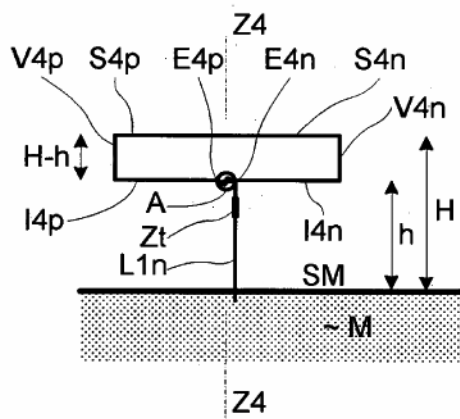


FIG. 18

