

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 380 762**

51 Int. Cl.:

H01Q 3/36 (2006.01)

H01Q 3/40 (2006.01)

H01Q 1/24 (2006.01)

H01Q 21/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04731959 .5**

96 Fecha de presentación: **10.05.2004**

97 Número de publicación de la solicitud: **1642357**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **05.04.2006**

54 Título: **Sistema de antenas de red en fase con inclinación eléctrica ajustable**

30 Prioridad:
17.05.2003 GB 0311371
22.05.2003 GB 0311739

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
18.05.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
18.05.2012

73 Titular/es:
Quintel Technology Limited
2 Temple Back East Temple Quay
Bristol BS1 6EG, GB

72 Inventor/es:
HASKELL, Philip, Edward

74 Agente/Representante:
Sugrañes Moliné, Pedro

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).

ES 2 380 762 T3

DESCRIPCIÓN

Sistema de antenas de red en fase con inclinación eléctrica ajustable

La presente invención se refiere a un sistema de antenas de red en fase con inclinación eléctrica ajustable. Es adecuado para su uso en muchas áreas de telecomunicaciones pero tiene una aplicación particular en redes de radio móviles celulares, comúnmente denominadas redes telefónicas móviles. Más específicamente, pero sin limitación, el sistema de antenas de la invención puede usarse con redes telefónicas móviles de segunda generación (2G) tales como el sistema GSM, y redes telefónicas móviles de tercera generación (3G) tal como el sistema universal de telefonía móvil (UMTS).

Los operadores de redes de radio móviles celulares generalmente emplean sus propias estaciones base, cada una de las cuales tiene al menos una antena. En una red de radio móvil celular, las antenas son un factor principal al definir un área de cobertura en el que puede tener lugar la comunicación con la estación base. El área de cobertura se divide generalmente en varias células superpuestas, estado asociada cada una con una antena y estación base respectivas. Las células también se dividen generalmente en sectores para aumentar la cubierta de comunicaciones.

La antena de cada sector está conectada a una estación base para comunicación de radio con todas las radios móviles en ese sector. Las estaciones base están interconectadas por otros medios de comunicación, habitualmente enlaces de radio de punto a punto o líneas terrestres fijas, permitiendo que las radios móviles en todo el área de cobertura celular se comuniquen entre sí así como con la red telefónica pública fuera de la red de radio móvil celular.

Se conocen redes de radio móviles celulares que usan antenas de red en fase: una antena de este tipo comprende una red de (habitualmente ocho o más) elementos de antena individuales tales como dipolos o parches. La antena tiene un patrón de radiación que consiste en un lóbulo principal y lóbulos laterales. El centro del lóbulo principal es la dirección de sensibilidad máxima de la antena, es decir, la dirección de su haz de radiación principal. Una propiedad ampliamente conocida de una antena de red en fase es que si las señales recibidas por los elementos de antena se retardan en un retardo que varía de manera lineal con la distancia desde un borde de la red, entonces el haz de radiación principal de la antena se orienta hacia la dirección de retardo creciente. El ángulo entre los centros de haz de radiación principal que corresponden a variación en retardo cero y distinta de cero, es decir el ángulo de orientación, depende de la tasa de cambio de retardo con la distancia a través de la red.

El retardo puede implementarse de manera equivalente cambiando la fase de la señal, de aquí la expresión red en fase. El haz principal del patrón de antena puede alterarse, por tanto, ajustando la relación de fase entre las señales alimentadas a diferentes elementos de antena. Esto permite orientar el haz para modificar el área de cobertura de la antena.

Los operadores de antenas de red en fase en redes de radio móviles celulares deben ajustar el patrón de radiación vertical de sus antenas, es decir la sección transversal del patrón en el plano vertical. Esto es necesario para alterar el ángulo vertical del haz principal de la antena, también conocido como "inclinación", con el fin de ajustar el área de cobertura de la antena. Tal ajuste puede requerirse, por ejemplo, para compensar un cambio en la estructura de red celular o el número de antenas o estaciones base. El ajuste del ángulo de inclinación de la antena se conoce tanto de manera mecánica como de manera eléctrica, y tanto de manera individual como en combinación.

El ángulo de inclinación de la antena puede ajustarse de manera mecánica moviendo elementos de antena o su alojamiento (radomo): se denomina ajustar el ángulo de "inclinación mecánica". Tal como se describió anteriormente, el ángulo de inclinación de la antena puede ajustarse de manera eléctrica cambiando el tiempo de retardo o la fase de las señales alimentadas a o recibidas desde cada elemento de red de antenas (o grupo de elementos) sin movimiento físico: esto se denomina ajustar el ángulo de "inclinación eléctrica".

Cuando se usa en una red de radio móvil celular, un patrón de radiación vertical (VRP) de la antena de red en fase tiene varios requisitos significativos:

1. alta ganancia de lóbulo principal (o referencia de alineación óptica);

2. un nivel de primer lóbulo lateral superior lo suficientemente bajo para evitar interferencia con móviles que usan una estación base en una célula o red diferente;

3. un nivel de primer lóbulo lateral inferior lo suficientemente alto para permitir comunicaciones en la proximidad inmediata de la antena.

Estos requisitos se oponen mutuamente: por ejemplo, el aumento de la ganancia de referencia de alineación óptica puede aumentar el nivel de los lóbulos laterales. Se ha hallado que un nivel de primer lóbulo lateral superior, en relación con el nivel de referencia de alineación óptica, de 18 dB proporciona un compromiso conveniente en el rendimiento del sistema global.

El efecto de ajustar o bien el ángulo de inclinación mecánica o bien el ángulo de inclinación eléctrica es recolocar la referencia de alineación óptica de modo que señale o bien por encima o bien por debajo del plano horizontal, lo que cambia el área de cobertura de la antena.

Puede desearse poder variar tanto la inclinación mecánica como la inclinación eléctrica de una antena de una estación base de radio celular: esto permite una flexibilidad máxima en la optimización de la cobertura de célula o sector, puesto que estas formas de inclinación tienen diferentes efectos en la cobertura sobre el suelo de la antena y también en otras antenas en la proximidad inmediata de la estación. Además, la eficacia operacional se mejora si el ángulo de inclinación eléctrica puede ajustarse de manera remota respecto al conjunto de antena. Mientras que un ángulo de inclinación mecánica de la antena puede ajustarse recolocando su radomo, cambiar su ángulo de inclinación eléctrica requiere un conjunto de circuitos electrónicos adicional que aumenta el coste y complejidad de la antena. Además, si se comparte una única antena entre varios operadores, es preferible proporcionar un ángulo de inclinación eléctrica individual para cada operador.

Hasta ahora la necesidad de un ángulo de inclinación eléctrica individual desde una antena compartida no se ha satisfecho y ha dado como resultado compromisos en el rendimiento del sistema. También pueden producirse reducciones adicionales en el rendimiento del sistema si la ganancia disminuye como consecuencia de la técnica adoptada para cambiar el ángulo de inclinación eléctrica.

R. C. Johnson, Antenna Engineers Handbook, 3rd Ed 1993, McGraw Hill, ISBN 0 - 07 - 032381 - X, Ch 20, Figura 20-2, da a conocer un método para ajustar de manera local o de manera remota el ángulo de inclinación eléctrica de una antena de red en fase. En este método, se alimenta una señal portadora de transmisor de radiofrecuencia (RF) a la antena y se distribuye a los elementos de radiación de la antena. Cada elemento de antena tiene un desfaseador variable asociado con el mismo de modo que la fase de la señal puede ajustarse en función de la distancia a través de la antena para variar el ángulo de inclinación eléctrica de la antena. La distribución de potencia cuando no está inclinada se proporciona para establecer el nivel de lóbulo lateral y la ganancia de referencia de alineación óptica. Se obtiene un control óptimo del ángulo de inclinación cuando el frente de fase se controla para todos los ángulos de inclinación de modo que el nivel de lóbulo lateral no aumente a lo largo del rango de inclinación. El ángulo de inclinación eléctrica puede ajustarse de manera remota, si se requiere, usando un servomecanismo para controlar la posición de los desfaseadores.

Esta antena del método de la técnica anterior tiene varias desventajas. Se requiere un desfaseador variable para cada elemento de antena. El coste de la antena es alto debido al número de tales desfaseadores requeridos. El coste puede reducirse usando un único dispositivo de retardo común o desfaseador para un grupo de elementos de antena en lugar de por cada elemento, pero esto aumenta el nivel de lóbulo lateral. Véase, por ejemplo, la solicitud de patente internacional publicada n.º WO 03/036756 A2 y la solicitud de patente japonesa n.º JP20011211025 A.

Puede usarse un acoplamiento mecánico de dispositivos de retardo para ajustar retardos, pero es difícil hacer esto correctamente; además, los enlaces y equipos mecánicos dan como resultado una distribución no óptima de retardos. El nivel de lóbulo lateral superior aumenta cuando la antena se inclina hacia abajo, provocando así una fuente potencial de interferencia con móviles que usan otras estaciones base. Si la antena se comparte por varios operadores, los operadores entonces tienen un ángulo de inclinación eléctrica común en lugar de diferentes ángulos, lo que es preferible. Finalmente, si la antena se usa en un sistema de comunicaciones que tiene un enlace ascendente y un enlace descendente a frecuencias diferentes (sistema dúplex de división de frecuencia), el ángulo de inclinación eléctrica en modo de transmisión es diferente del de modo de recepción debido a la dependencia en frecuencia de las propiedades de los componentes de procesamiento de señales.

Las solicitudes de patente internacional n.ºs PCT/GB2002/004166 y PCT/GB2002/004930 describen el ajuste de manera local o de manera remota del ángulo de inclinación eléctrica de una antena por medio de una diferencia de fase entre un par de alimentadores de señales conectados a la antena.

Un objeto de la presente invención es proporcionar una forma alternativa de sistema de antenas de red en fase.

La presente invención proporciona un sistema de antenas de red en fase con inclinación eléctrica ajustable y que comprende una red de elementos de antena, incorporando el sistema:

a) un desfaseador variable para introducir un desfase relativo variable entre señales de RF primera y segunda,

b) un aparato de división para dividir la primera señal relativamente desfasada en primeras señales de componente en el que al menos algunas de las primeras señales de componente varían en potencia de señal, y la segunda señal relativamente desfasada en segundas señales de componente en el que al menos algunas de las segundas señales de componente varían en potencia de señal, y

c) una red de combinación de señales para combinar señales de componente primeras y segundas para

proporcionar señales de accionamiento de elementos de antena,

en el que la red de combinación de señales incluye dispositivos de combinación de vectores de RF dispuestos para formar combinaciones vectoriales de primeras señales de componente con segundas señales de componente con el fin de proporcionar una señal de accionamiento respectiva para cada elemento de antena individual, variando las señales de accionamiento en fase según una función sustancialmente lineal de posición de elemento de antena en la red según se requiere para una operación de red en fase y pudiendo ajustarse el ángulo de inclinación eléctrica de la red en respuesta a la alteración del desfase relativo variable introducido por el desfasador variable.

La invención proporciona la ventaja de que es posible ajustar la inclinación eléctrica para toda la red usando sólo un único desfasador variable, en lugar de un desfasador variable por cada elemento de antena o grupo de elementos de antena como en la técnica anterior. Si se usan uno o más desfasadores adicionales, puede obtenerse un rango ampliado de inclinación eléctrica.

El sistema de antenas puede tener un número impar de elementos de antena. El desfasador variable puede ser un primer desfasador variable, incluyendo el sistema un segundo desfasador variable dispuesto para desfasar una señal de componente que se ha desfasado por el primer desfasador variable, y proporcionando el segundo desfasador variable una salida de señal de componente adicional para la red de desfase y combinación de señales o bien directamente o bien a través de una o más combinaciones de desfasador variable/divisor.

El desfasador variable puede ser uno de una pluralidad de desfasadores variables, estando dispuesta la red de desfase y combinación de señales para producir señales de accionamiento de elementos de antena a partir de señales de componente de las que algunas han atravesado todos los desfasadores variables y algunas no.

El aparato de división puede estar dispuesto para dividir una señal de componente en señales de componente adicionales para la entrada a la red de desfase y combinación de señales. La red de desfase y combinación de señales puede emplear desfasadores y acopladores híbridos (híbridos) para desfasar y combinar de manera vectorial las señales de componente. Los híbridos pueden ser híbridos de 180 grados, también conocidos como híbridos de suma y diferencia. Los híbridos pueden construirse como híbridos de anillo cada uno con circunferencia $(n+1/2)\lambda$ y puertos de entrada y salida separados por $\lambda/4$, donde n es un número entero y λ es la longitud de onda de las señales de RF en el material en el que se construye cada híbrido de anillo. Los puertos de entrada y salida de cada híbrido se adaptan a la impedancia de sistema.

Los híbridos, para combinar de manera vectorial las señales de componente pueden diseñarse para convertir señales de entrada I_1 y I_2 en sumas y diferencias de vectores distintas de $(I_1 + I_2)$ y $(I_1 - I_2)$.

El aparato de división, el desfasador variable y la red de desfase y combinación de señales pueden ubicarse conjuntamente con la red de antenas para formar un conjunto de antena, teniendo el conjunto un único alimentador de potencia de entrada de RF desde una fuente remota. Alternativamente, el aparato de división puede incorporar divisores primero, segundo y tercero, situándose el primer divisor con el desfasador variable de manera remota respecto a los divisores segundo y tercero, situándose conjuntamente los divisores segundo y tercero, la red de desfase y combinación de señales y la red de antenas como un conjunto de antena, y teniendo el conjunto alimentadores de potencia de entrada de RF duales desde una fuente remota en la que están ubicados el primer divisor y desfasador variable.

El desfasador variable puede ser un primer desfasador variable conectado en un canal de transmisión, incluyendo el sistema un segundo desfasador variable conectado en un canal de recepción: puede haber canales de recepción y transmisión similares que proporcionan desfases fijos en lugar de desfase variable: la red de desfase y combinación de señales está dispuesta entonces para operar en modos tanto de transmisión como de recepción produciendo señales de accionamiento de elementos de antena en respuesta a señales en los canales de transmisión y produciendo una señal de canal de recepción a partir de señales desarrolladas por elementos de antena que operan en modo de recepción. El ángulo de inclinación eléctrica puede ajustarse entonces independientemente en cada modo.

El desfasador variable puede ser uno de una pluralidad de desfasadores variables asociados con respectivos operadores, y el sistema incluye un aparato de filtración y combinación para encaminar señales al aparato de alimentación de señales común después del desfase en los desfasadores variables respectivos, conectándose el aparato de alimentación de señales común al aparato de división y a una red de desfase y combinación de señales para proporcionar señales a la antena que contienen contribuciones de ambos operadores con inclinación eléctrica independientemente ajustable. La pluralidad de desfasadores variables puede comprender un par respectivo de desfasadores variables asociados con cada operador, y el sistema puede tener componentes que tienen capacidades de procesamiento de señales tanto directo como inverso de manera que el sistema puede operar en modos de transmisión y de recepción con inclinación eléctrica independientemente ajustable en cada modo.

En otro aspecto, la presente invención proporciona un método para ajustar la inclinación eléctrica de un sistema de

antenas de red en fase, incluyendo el sistema una red de elementos de antena e incorporando el método las etapas de:

a) introducir un desfase relativo variable entre señales de RF primera y segunda,

b) dividir las señales de RF primera y segunda relativamente desfasadas respectivamente en una pluralidad de primeras señales de componente en el que al menos algunas de las primeras señales de componente varían en potencia de señal, y en una pluralidad de segundas señales de componente en el que al menos algunas de las segundas señales de componente varían en potencia de señal, y

c) combinar señales de componente primeras y segundas para proporcionar señales de accionamiento de elementos de antena,

en el que la etapa de combinación c) forma combinaciones vectoriales de primeras señales de componente con segundas señales de componente usando dispositivos de combinación de vectores de RF para proporcionar una señal de accionamiento respectiva para cada elemento de antena individual, variando las señales de accionamiento en fase según una función sustancialmente lineal de posición de elemento de antena en la red según se requiere para una operación de red en fase y pudiendo ajustarse el ángulo de inclinación eléctrica de la red en respuesta a la alteración del desfase relativo variable introducido por el desfasador variable.

La red puede tener un número impar de elementos de antena.

El método puede incluir generar al menos una señal de componente que ha experimentando un desfase en una pluralidad de desfasadores variables. Los desfasadores variables pueden estar acoplados mecánicamente, incluyendo el método producir señales de accionamiento de elementos de antena a partir de señales de componente de las que algunas han atravesado todos los desfasadores variables y algunas no.

El método puede incluir dividir una señal de componente en señales de componente adicionales para la entrada a la red de desfase y combinación de señales. Puede emplear desfasadores e híbridos para desfasar y combinar de manera vectorial las señales de componente. Los híbridos pueden ser híbridos de 180 grados. Pueden ser híbridos de anillo con circunferencia $(n+1/2)\lambda$ y puertos de entrada y salida separados por $\lambda/4$, donde n es un número entero y λ es la longitud de onda de las señales de RF en el material en el que se construye cada híbrido de anillo. El aparato de división también puede incorporar tales híbridos de anillo, terminándose un puerto de cada híbrido en una resistencia igual en valor a la impedancia de sistema para formar una carga compensada.

Los híbridos para combinar de manera vectorial las señales de componente pueden diseñarse para convertir señales 11 y 12 de entrada en sumas y diferencias de vectores distintas de (I_1+I_2) y (I_1-I_2) .

El método puede incluir alimentar una única señal de entrada de RF desde una fuente remota para la división, desfase variable y combinación vectorial en una red ubicada conjuntamente con la red de antenas para formar un conjunto de antena. Puede incluir alternativamente alimentar dos señales de entrada de RF con fase variable una respecto a la otra desde una fuente remota a un conjunto de antena y dividir, desfasar y combinar señales en una red ubicada conjuntamente con la red de antenas. Puede emplear canales de recepción y transmisión para operación en modos tanto de transmisión como de recepción, produciendo señales de accionamiento de elementos de antena en respuesta a una señal en los canales de transmisión y produciendo una señal de canal de recepción a partir de señales desarrolladas por elementos de antena que operan en modo de recepción.

El desfasador variable puede ser uno de una pluralidad de desfasadores variables asociados con respectivos operadores, y el método puede incluir:

a) filtrar y combinar señales y pasarlas al aparato de alimentación de señales común después del desfase en los desfasadores variables respectivos, conectándose el aparato de alimentación de señales común al aparato de división y la red de desfase y combinación de señales;

b) proporcionar señales a la antena que contienen contribuciones de ambos operadores; y

c) ajustar la inclinación eléctrica asociada con cada operador independientemente.

La pluralidad de desfasadores variables puede comprender un par respectivo de desfasadores variables asociados con cada operador; el método puede emplear componentes que tienen capacidades de procesamiento de señales tanto directo como inverso, y el método puede incluir operar en modos de transmisión y de recepción con inclinación eléctrica independientemente ajustable en cada modo.

Con el fin de que la invención pueda entenderse más completamente, ahora se describirán realizaciones de la misma, sólo a modo de ejemplo, con referencia al dibujo adjunto, en el que:-

la figura 1 muestra un patrón de radiación vertical (VRP) de una antena de red en fase con ángulos de inclinación eléctrica cero o distintos de cero;

5 la figura 2 ilustra una antena de red en fase de la técnica anterior que tiene un ángulo de inclinación eléctrica ajustable;

la figura 3 es un diagrama de bloques de un sistema de antenas de red en fase de la invención;

10 la figura 4 muestra en más detalle una red de combinación de señales usada en el sistema de la figura 3;

la figura 5 es un diagrama de fase de señales de elementos de antena asociadas con un desfase de noventa grados introducido por un desfasador variable en el sistema de la figura 3;

15 las figuras 6 y 7 son diagramas de bloques de partes de sistemas de antenas de red en fase adicionales de la invención que incorporan once y doce elementos de antena respectivamente (la separación entre elementos no está totalmente a escala en la figura 6);

20 la figura 8 es un diagrama de fase de señales de elementos de antena asociadas con un desfase de noventa grados introducido por un desfasador variable en el sistema de la figura 7;

la figura 9 es un diagrama de bloques de parte de otro sistema de antenas de red en fase de la invención que emplea dos desfasadores variables;

25 la figura 10 es un diagrama de bloques de parte de un sistema de antenas de la invención similar al mostrado en la figura 9 pero que emplea desfasadores variables acoplados mecánicamente;

las figuras 11 y 12 ilustran el uso de la invención con alimentadores individuales y duales respectivamente;

30 la figura 13 muestra una modificación a la invención que permite que los ángulos de inclinación eléctrica en modo de transmisión y modo de recepción puedan ajustarse independientemente;

35 la figura 14 es un diagrama de bloques de otro sistema de antenas de red en fase de la invención que ilustra la compartición de antenas por múltiples usuarios con alimentadores duales e inclinación individual y capacidad de transmisión/recepción;

la figura 15 es una variante del sistema de antenas de la figura 9 con desfasadores variables ubicados de manera remota entre sí; y

40 la figura 16 ilustra un sistema de antenas de red en fase de la invención que incorpora acopladores híbridos de anillo.

45 Todos los ejemplos ilustrados emplean conexiones para las que las impedancias de origen de señales son iguales a las impedancias de carga respectivas con el fin de formar un sistema 'compensado'. Un sistema compensado maximiza la potencia transmitida desde una fuente a una carga y evitar reflexiones de señales. Cuando las líneas de señales terminan en una resistencia (véase por ejemplo la figura 6) el valor de la resistencia es igual a la impedancia de sistema con el fin de formar una terminación compensada.

50 En referencia a la figura 1, se muestran patrones 10a y 10b de radiación vertical (VRP) de una antena 12 que es una red en fase de elementos de antena individuales (no mostrado). La antena 12 es plantar, tiene un centro 14 y se extiende verticalmente en el plano del dibujo. Los VRP 10a y 10b corresponden respectivamente a una variación cero y distinta de cero en retardo o fase de señales de elementos de antena distanciados a través de la antena 12. Tienen lóbulos 16a, 16b principales respectivos con líneas 18a, 18b centrales o "referencia de alineación óptica", primeros lóbulos 20a, 20b laterales superiores y primeros lóbulos 22a, 22b laterales inferiores; 18c indica el sentido de referencia de alineación óptica para una variación cero en retardo para su comparación con la equivalente 18b distinta de cero. Cuando se menciona sin el sufijo a o b, por ejemplo lóbulo 20 lateral, se hace referencia a cualquiera del par relevante de elementos sin distinción. El VRP 10b está inclinado (hacia abajo tal como se ilustra) en relación con el VRP 10a, es decir hay un ángulo, el ángulo de inclinación, entre las líneas 18b y 18c centrales del haz principal que tiene una magnitud dependiente de la tasa a la que varía el retardo con la distancia a través de la antena 12.

60 El VRP tiene que satisfacer varios criterios: a) alta ganancia de referencia de alineación óptica; b) el primer lóbulo 20 lateral superior debe estar a un nivel lo suficientemente bajo para evitar provocar interferencia con móviles que usan otra célula y c) el primer lóbulo 22 lateral inferior debe ser suficiente para que sean posibles las comunicaciones en la proximidad inmediata de la antena.

Los requisitos se oponen mutuamente: por ejemplo, maximizando la ganancia de referencia de alineación óptica pueden aumentar los lóbulos 20, 22 laterales. En relación con un nivel de referencia de alineación óptica (longitud de haz 16 principal), se halló que un nivel de primer lóbulo lateral superior de -18 dB proporciona un compromiso conveniente en el rendimiento del sistema global. La ganancia de referencia de alineación óptica disminuye en proporción al coseno del ángulo de inclinación debido a la reducción en la apertura efectiva de la antena. Pueden obtenerse como resultado reducciones adicionales en la ganancia de referencia de alineación óptica dependiendo de cómo se cambie el ángulo de inclinación.

El efecto de ajustar o bien el ángulo de inclinación mecánica o bien el ángulo de inclinación eléctrica es recolocar la referencia de alineación óptica para que señale o bien por encima de o bien por debajo del plano horizontal, y así aumenta o disminuye el área de cobertura de la antena. Para una flexibilidad máxima de uso, una estación base de radio celular preferiblemente tiene disponible tanto inclinación mecánica como inclinación eléctrica puesto que cada una tiene un efecto diferente en la forma y área de cobertura sobre el suelo y también en otras antenas tanto en la proximidad inmediata como en las células vecinas. También es conveniente si la inclinación eléctrica de una antena puede ajustarse de manera remota respecto a la antena. Además, si se comparte una única antena entre varios operadores es preferible proporcionar un ángulo de inclinación eléctrica individual para cada operador.

Ahora, en referencia a la figura 2, se muestra un sistema 30 de antenas de red en fase de la técnica anterior en el que el ángulo de inclinación eléctrica puede ajustarse. El sistema 30 incorpora una entrada 32 para una señal portadora de transmisor de radiofrecuencia (RF), conectándose la entrada a una red 34 de distribución de potencia. La red 34 se conecta a través de desfasadores $\Phi_i.E0$, $\Phi_i.E1L$ a $\Phi_i.E[n]L$ y $\Phi_i.E1U$ a $\Phi_i.E[n]U$ a respectivos elementos $E0$, $E1L$ a $E[n]L$ y $E1U$ a $E[n]U$ de antena de radiación, respectivamente, del sistema 30 de antenas de red en fase: en este caso los sufijos U y L indican superior e inferior respectivamente, n es un número entero positivo arbitrario superior a 2 que define el tamaño de red en fase, y las líneas discontinuas tal como 36 que indican el elemento relevante pueden replicarse según se requiera para cualquier tamaño de red deseada.

El sistema 30 de antenas de red en fase opera tal como sigue. Una señal portadora de transmisor de RF se alimenta a través de la entrada 32 a la red 34 de distribución de potencia: la red 34 divide esta señal (no necesariamente de manera equitativa) entre los desfasadores $\Phi_i.E0$, $\Phi_i.E1L$ a $\Phi_i.E[n]L$ y $\Phi_i.E1U$ a $\Phi_i.E[n]U$, que desfasan las señales que reciben y pasan las señales desfasadas resultantes a elementos $E0$, $E1L$ a $E[n]L$, $E1U$ a $E[n]U$ de antena asociados respectivos. Los desfases y las amplitudes de señal para cada elemento se eligen para seleccionar un ángulo de inclinación eléctrica apropiado. La distribución de potencia por la red 34 cuando el ángulo de inclinación es cero se elige para establecer el nivel de lóbulo lateral y la ganancia de referencia de alineación óptica apropiadamente. Se obtiene un control óptimo del ángulo de inclinación cuando el frente de fase se controla para todos los ángulos de inclinación de modo que el nivel de lóbulo lateral no aumente significativamente a lo largo del rango de inclinación. El ángulo de inclinación eléctrica puede ajustarse de manera remota, si se requiere, usando un servomecanismo para controlar los desfasadores $\Phi_i.E0$, $\Phi_i.E1L$ a $\Phi_i.E[n]L$ y $\Phi_i.E1U$ a $\Phi_i.E[n]U$, que pueden accionarse de manera mecánica.

El sistema 30 de antenas de red en fase de la técnica anterior tiene varias desventajas tal como sigue:

- a) se requiere un desfasador respectivo para cada elemento de antena, o por grupo de elementos;
- b) el coste de la antena es alto debido al número de desfasadores requeridos;
- c) la reducción de coste aplicando desfasadores a grupos de elementos aumenta el nivel de lóbulo lateral;
- d) el acoplamiento mecánico de los desfasadores para establecer retardos correctamente es difícil y se usan enlaces y equipos mecánicos, lo que da como resultado un esquema de retardo no óptimo;
- e) el nivel de lóbulo lateral superior aumenta cuando la antena se inclina hacia abajo provocando una fuente potencial de interferencia con móviles que usan otras células;
- f) si se comparte una antena por diferentes operadores, todos deben usar el mismo ángulo de inclinación eléctrica;
- g) en un sistema con enlace ascendente y enlace descendente a frecuencias diferentes (sistema dúplex de división de frecuencia), el ángulo de inclinación eléctrica en transmisión es diferente del de recepción;

En referencia ahora a la figura 3, se muestra un sistema 40 de antenas de red en fase de la invención que tiene un ángulo de inclinación eléctrica ajustable. El sistema 40 incorpora cinco zonas 40_1 a 40_5 funcionales sucesivas denominadas en la técnica como "niveles" e indicadas entre pares de líneas discontinuas tal como 41. Tiene una entrada 42 para una señal de transmisión portadora de RF: la entrada 42 se conecta como entrada a un divisor 44 de potencia que proporciona dos señales de salida que tienen amplitudes $V1A$, $V1B$, convirtiéndose éstas en señales de entrada para un desfasador 46 variable y un primer desfasador 48 fijo respectivamente. Los

desfasadores 46 y 48 pueden considerarse equivalentemente como tiempos de retardo. Proporcionan señales V2B y V2A de salida respectivas a dos divisores 52 y 54 de potencia respectivamente. Los divisores 52 y 54 de potencia tienen n salidas tales como 52a y 54a respectivamente: en este caso n es un número entero positivo igual a 2 o más, y las salidas 52b y 54b en línea discontinua indican que la salida en cada caso puede replicarse según se requiera para cualquier tamaño de red en fase deseado.

Las salidas de divisor de potencia tales como 52a y 54a proporcionan señales de salida que tienen amplitudes V_{a1} a $V_{a[n]}$ y V_{b1} a $V_{b[n]}$ respectivamente (ilustradas sin la letra V). Tal como se describirá más adelante en más detalle, algunas de estas señales de salida pueden tener amplitudes iguales a otras y algunas desiguales. En una realización (que va a describirse) con diez elementos de antena ($n = 5$), $V_{a1} = V_{a2} = V_{a3}$, $V_{b3} = V_{b4} = V_{b5}$; $V_{a4} = V_{b2}$ y $V_{a5} = V_{b1}$. Estas señales de salida se alimentan al nivel 40₄ de desfase y combinación, que contiene desfasadores 56 y 58 fijos segundo y tercero y las redes de combinación de vectores indicadas conjuntamente por 60. El nivel 40₄ se describirá en más detalle más adelante: proporciona señales de accionamiento a elementos 62₁ a 62_n de antena equidistantes de una red 62 en fase a través de desfasadores 64₁ a 64n fijos respectivos. En este caso igual que antes, n es un número entero arbitrario igual a o superior a 2 pero igual al valor de n para los divisores 52 y 54 de potencia, y el tamaño de red en fase es 2n elementos de antena. Los elementos 62₂ y 62₃ de antena internos se muestran en líneas discontinuas para indicar que pueden replicarse según se requiera para muchos tamaños de red en fase deseados.

El sistema 40 de antenas de red en fase opera tal como sigue. Una señal portadora de transmisor de RF se alimenta (alimentador individual) a través de la entrada 42 al divisor 44 de potencia en el que se divide en señales V1A y V1B (de igual potencia en este ejemplo). Las señales V1A y V1B se alimentan a los desfasadores 46 y 48 variable y fijo respectivamente. El desfasador 46 variable aplica un tiempo de retardo o desfase que puede seleccionarse por el operador, y el grado de desfase aplicado en este caso controla el ángulo de inclinación eléctrica de toda la red 62 en fase de elementos 62₁, etc. de antena. El desfasador 48 fijo no es esencial sino conveniente: aplica un desfase fijo que se elige por conveniencia para que sea la mitad del desfase máximo ϕ_M aplicable por el desfasador 46 variable. Esto permite que V1A sea variable en fase en el intervalo $-\phi_M/2$ a $+\phi_M/2$ en relación con V1B, y estas señales después del desfase se convierten en V2B y V2A tal como se ha mencionado después de salir de los desfasadores 46 y 48.

Cada uno de los divisores 52 y 54 de potencia divide las señales V2B o V2A en un conjunto respectivo de n señales V_{b1} a $V_{b[n]}$ o V_{a1} a $V_{a[n]}$ de salida, en las que la potencia de cada señal en cada conjunto V_{b1} , etc. o V_{a1} , etc. no es necesariamente igual a las potencias de las otras señales en su conjunto. La variación de potencias de señal a través de los conjuntos V_{a1} , etc. y V_{b1} , etc. es diferente para diferentes números de elementos 62₁, etc. de antena en la red 62.

Una del conjunto de señales V_{b1} a $V_{b[n]}$ de salida se alimenta a un desfasador 64₃ de antena fijo respectivo a través del segundo desfasador 56, y una del conjunto de señales V_{a1} a $V_{a[n]}$ de salida se alimenta igualmente a otro desfasador 64₈ de antena a través del tercer desfasador 58. Los desfasadores 56 y 58 segundo y tercero introducen desfases de relleno para compensar el introducido por las redes 60 de combinación. Otras señales en los conjuntos V_{b1} a $V_{b[n]}$ y V_{a1} a $V_{a[n]}$ se combinan en pares en las redes 60 para producir señales resultantes sumadas de manera vectorial para accionar elementos 62₁, etc. de antena respectivos a través de los desfasadores 64₁, etc. Los desfasadores 64₁, etc. fijos imponen desfases fijos que varían entre diferentes elementos 62₁, etc. de antena según la posición geométrica de los elementos a través de la red 62: esto establece una dirección de referencia cero (18a o 18b en la figura 1) para la referencia de alineación óptica de la red 62 cuando se impone una diferencia de fase cero entre las señales V1A y V1B por el desfasador 46 variable. Los desfasadores 64₁, etc. de antena no son esenciales, pero se prefieren porque pueden usarse para a) proporcionar correctamente el desfase introducido por el proceso de inclinación, b) optimizar la supresión de los lóbulos laterales a lo largo del rango de inclinación, e c) introducir un ángulo de inclinación eléctrica fijo opcional.

El ángulo de inclinación eléctrica de la red 60 es variable simplemente usando un desfasador variable, el desfasador 46 variable. Esto se compara con el requisito de la técnica anterior de tener múltiples desfasadores variables, uno para cada elemento de antena o subgrupo de elementos de antena. Cuando la diferencia de fase introducida por el desfasador 46 variable es positiva en relación con el desfase 48 fijo, la antena se inclina en una dirección, y cuando esa diferencia de fase es negativa la antena se inclina en la dirección opuesta.

Si hay varios usuarios, cada usuario puede tener un sistema 40 de antenas de red en fase respectivo. Alternativamente, si se requiere que los usuarios compartan una antena común, al tiempo que conservan una capacidad de inclinación eléctrica individual, entonces cada usuario puede tener un conjunto respectivo de niveles 40₁ y 40₂ en la figura 3. Además, una red de combinación que consiste en niveles 40₃, 40₄ y 40₅ se requiere que combine señales desde la pluralidad resultante de conjuntos de divisores 44 y desfasadores o retardos 46 y 48 para alimentar a la red 62 de antenas. La solicitud de patente internacional publicada n.º WO 03/043127 A3 describe la compartición de esta manera, pero usa una antena con múltiples subgrupos de elementos de antena, teniendo cada elemento de antena en un subgrupo la misma fase de señal de accionamiento de elemento. En el sistema 40 de antenas, todos los elementos 62₁ a 62_n de antena tienen diferentes fases de señal de accionamiento de elemento

según se requiera para un rendimiento de red en fase mejorado.

Puede mostrarse que el sistema 40 de antenas tiene buena supresión de lóbulo lateral que se mantiene con su rango de inclinación eléctrica. El sistema 40 de antenas puede implementarse a un coste menor que diseños contemporáneos que ofrecen un nivel similar de rendimiento. Su inclinación eléctrica puede ajustarse de manera remota usando un único dispositivo de retardo variable, y esto permite que diferentes operadores lo compartan al tiempo que se proporciona a cada operador un ángulo de inclinación eléctrica individual. El ángulo de inclinación eléctrica en modo de transmisión puede o bien ser el mismo, o bien diferente del de modo de recepción modificando el sistema 40 de antenas para que incluya diferentes trayectorias y desfases para transmitir y recibir, tal como se describirá más adelante.

En referencia ahora a la figura 4, se muestra parte de una implementación 70 de la invención para una red 62 en fase de diez elementos 62_1 a 62_{10} . Las partes equivalentes a las descritas previamente tienen las mismas referencias. La figura 4 corresponde a las partes 40_3 a 40_5 de la figura 3, y los divisores 52 y 54 se muestran intercambiados en posición. Los divisores 52 y 54 reciben respectivamente señales V2B y V2A de entrada de igual potencia pero de fase relativa variable. Cada uno divide sus entradas respectivas en cinco señales, de las que tres tienen la misma amplitud (A o B), y las otras dos tienen 0,32 y 0,73 de esa amplitud (0,32 ó 0,73 de A o B).

Ocho de las diez señales procedentes de los divisores 52 y 54 pasan a cuatro dispositivos 60_1 a 60_4 de combinación de vectores: cada uno de estos dispositivos es un híbrido de 180 grados (marcado con H) que tiene dos terminales de entrada designados como I1 y I2 y dos terminales de salida designados como S y D para suma y diferencia respectivamente. Las referencias I1 y I2 también se usarán por conveniencia para indicar señales en esos terminales. Tal como se indica por las designaciones de los terminales, en la recepción de señales I1 y I2 de entrada, cada uno de los híbridos 60_1 a 60_4 produce dos señales de salida en S y D que son la suma y diferencia de vectores de sus señales de entrada respectivas. La tabla 1 a continuación muestra las amplitudes de señal de entrada recibidas por los híbridos 60_1 a 60_4 y las señales de salida en forma de vector generadas en respuesta, expresadas en términos de valores arbitrarios A y B en cada caso.

Tabla 1

Híbrido	Entrada I1	Entrada I2	Salida S	Salida D
60_1	A	0,73B	$0,707(A + 0,73B)$	$0,707(A - 0,73B)$
60_2	A	0,32B	$0,707(A + 0,32B)$	$0,707(A - 0,32B)$
60_3	B	0,32A	$0,707(B + 0,32A)$	$0,707(B - 0,32A)$
60_4	B	0,73A	$0,707(B + 0,73A)$	$0,707(B - 0,73A)$

La tabla 2 a continuación muestra los elementos de antena que reciben las señales de salida, generadas por los divisores 52 y 54 e híbridos 60_1 a 60_4 a través de desfases de antena (PS) 64_1 a 64_{10} .

Tabla 2

Elemento de antena	Amplitud de señal	Elemento de antena	Amplitud de señal
62_1	$0,707(B - 0,73A)$	62_6	$0,707(A + 0,73B)$
62_2	$0,707(B - 0,32A)$	62_7	$0,707(A + 0,32B)$
62_3	B	62_8	A
62_4	$0,707(B + 0,32A)$	62_9	$0,707(A - 0,32B)$
62_5	$0,707(B + 0,73A)$	62_{10}	$0,707(A - 0,73B)$

Una señal A o B procedente de cada divisor 52 ó 54 no se encamina al desfaseador 64_3 ó 64_8 de antena a través de un híbrido sino en cambio a través de un desfaseador 56 ó 58 aplicando un desfase de ϕ , que es igual a y compensa el impuesto por uno de los híbridos 60_1 a 60_4 . Esto se conoce como "relleno". Los pares $56/64_3$ y $58/64_8$ de desfases fijos podrían cada uno implementarse como un desfase único. El divisor 44 de entrada en la figura 3 puede proporcionar (opcionalmente) división de potencia desigual de modo que las amplitudes V2A y V2B de señal son diferentes en las figuras 3 y 4. Además, los híbridos 60_1 a 60_4 que proporcionan (tal como se describe) vectores de suma y diferencia I1+I2 y I1-I2 pueden subsumir (opcionalmente) toda o parte de la función de los divisores 52 y 54: es decir pueden diseñarse en lugar de ello para convertir las entradas I1 y I2 en sumas y diferencias de vectores distintas de I1+I2 y I1-I2, por ejemplo una suma de $xI1+yI2$ donde x e y son valores numéricos que no son iguales. Esto está sujeto a la restricción de que la potencia de salida total más pérdidas híbridas debe mantenerse igual a la entrada de potencia total a los híbridos 60_1 a 60_4 . Además, en lugar de híbridos 60_1 a 60_4 de 180 grados, pueden usarse híbridos que proporcionen otros desfases (por ejemplo 60 grados, 90 grados o 120 grados).

Ahora en referencia también a la figura 5, se muestra un diagrama de vectores para el sistema 70 de antenas cuando la diferencia de fase entre las señales V2A y V2B (que tienen la misma fase que A y B respectivamente) es

de 90 grados, que es el ángulo, en este ejemplo, en el que el frente de fase a través de los elementos de antena se optimiza. Todas las sumas y diferencias de vectores en la figura 5 (es decir, todos los vectores distintos de A y B) de hecho deben multiplicarse por $2^{-1/2}$ ó 0,707 como en las tablas 1 y 2, por ejemplo, $A + 0,73B$ debe ser $0,707(A + 0,73B)$; pero esta constante de multiplicación es meramente un factor de ajuste a escala y se ha omitido del dibujo para reducir la complejidad.

El sistema 70 de antenas se optimiza al determinar los valores de A y B en las tablas 1 y 2 con una diferencia de fase de 90 grados: en este valor de diferencia de fase, el sistema 70 de antenas tiene un frente de fase sustancialmente lineal a través de los elementos de antena con dos ángulos de inclinación eléctrica y un frente de fase igual con un ángulo de inclinación medio. Las flechas radiales tal como 80 que termina en 82_1 a 82_{10} indican la magnitud y ángulos de fase de las señales de accionamiento de red en fase según aparecen en los elementos 62_1 a 62_{10} de antena respectivamente. Las flechas oblicuas tal como 84 indican desviaciones de radio vector (por ejemplo $0,73b$ o $0,32a$) respecto del radio vector A o B. Dos flechas $84a$ y $84b$ etiquetadas como $+0,73B$ y $+0,73A$ se tratan en el dibujo como flechas 84 adyacentes que se subsumen etiquetadas como $+0,32B$ y $+0,32A$, y que se extienden así de vuelta a los radios vectores A y B respectivamente.

Las flechas bidireccionales tal como 86 indican diferencias de fases entre radios vectores adyacentes, siendo la diferencia de fase de 22 grados entre señales en los pares más externos de elementos $62_1/62_2$ y $62_9/62_{10}$ de antena y de 18 grados entre los demás pares $62_2/62_3$ a $62_8/62_9$. La diferencia entre 18 y 22 grados es pequeña en el contexto de una red en fase: para propósitos prácticos, por tanto, las diferencias de fase entre pares adyacentes de elementos $62_i/62_{i+1}$ de antena ($i = 1$ a 9) son sustancialmente constantes y la variación de fase a través de la red 62 es una función sustancialmente lineal de posición en la red según se requiera para una operación normal de red en fase.

Tal como se ha mencionado, la figura 5 representa la situación para 90 grados de diferencia de fase entre las señales A y B o $V2A$ y $V2B$. Una diferencia de fase de cero corresponde a un ángulo de inclinación medio, y las diferencias de fase positivas y negativas corresponden a ángulos de inclinación de antena positivos y negativos.

Haciendo referencia ahora a la figura 6, se muestra parte de un sistema 100 de antenas de la invención que involucra un número impar de elementos de antena, once en este ejemplo. El sistema 100 es equivalente al ejemplo 70 con la adición de un pequeño número de componentes, y la descripción que sigue se centrará en aspectos de diferencia. Las partes equivalentes a las descritas previamente tienen las mismas referencias. El sistema 100 difiere del que se describió anteriormente en que las salidas de diferencia D de los híbridos 60_1 y 60_4 no están conectadas a los desfases 64_1 y 64_{10} sino en cambio a divisores 102 y 104 de dos vías respectivamente. Estos divisores dividen señales procedentes de los híbridos 60_1 y 60_4 en fracciones de amplitudes respectivas $c1/c2$ y $d1/d2$: de éstas, $c1$ y $d1$ se alimentan a los desfases 64_1 y 64_{10} para su uso en el accionamiento de elementos 62_1 y 62_{10} de antena. Las fracciones $c2$ y $d2$ se alimentan respectivamente a las entradas I1 y I2 de un quinto híbrido 60_5 adicional del mismo tipo que los híbridos 60_1 y 60_4 . El quinto híbrido 60_5 tiene una salida de suma S que termina en una carga 106 compensada, y una salida de diferencia D que se conecta a un elemento 62_0 de antena centralmente ubicado adicional a través de un desfase 108 de $\phi-90$ grados y un desfase 64_0 de antena. En la figura 5, todos los elementos de antena son equidistantes por una distancia, digamos L, entonces la introducción del elemento 62_0 de antena central significa que está separado por $L/2$ de los elementos 62_5 y 62_6 vecinos (esto está marcado en el dibujo pero por conveniencia la separación se ilustra como más grande de lo que realmente es). Sin embargo, tal separación $L/2$ no es esencial.

El efecto neto de las modificaciones en la figura 6 en la red 62 de antenas es que los elementos 62_1 y 62_{10} tienen señales de accionamiento reducidas a $d1(B - 0,73A)$ y $c1(A - 0,73B)$, y el elemento 62_0 central adicional tiene una señal de accionamiento $d2(B - 0,73A) - c2(A - 0,73B)$.

Puede mostrarse que el sistema 100 de antenas tiene un patrón de radiación vertical asimétrico cuando se inclina hacia abajo en comparación con cuando se inclina hacia arriba. Hay un aumento en potencia de señal alimentada a los elementos 62_1 y 62_{10} de antena de extremo cuando la red 62 de antenas se inclina de manera eléctrica o bien hacia arriba o bien hacia abajo. De manera ideal, el nivel de lóbulo lateral se controlaría de manera óptima cuando la variación de señal de accionamiento a través de la red (ahusamiento de amplitud) permanece sustancialmente constante a lo largo del rango de inclinación de antena. Con el fin de compensar efectos consecuenciales en lóbulos laterales debido a la potencia aumentada en los elementos 62_1 y 62_{10} de antena de extremo cuando se inclinan, pueden usarse varias técnicas tal como sigue:

1. pueden insertarse atenuadores en serie con los elementos 62_1 y 62_{10} de antena de extremo;
2. los elementos 62_1 y 62_{10} de antena de extremo pueden dividirse cada uno en dos, añadiendo dos elementos adicionales a la antena;
3. la potencia puede desviarse parcialmente de los elementos 62_1 y 62_{10} de antena de extremo a elementos cerca del centro de la antena usando híbridos adicionales; y

4. parte de la potencia de los elementos 62_1 y 62_{10} de antena de extremo puede usarse para accionar el elemento 62_0 central, tal como se muestra de hecho en la figura 6.

5 El sistema 100 de antenas ofrece las siguientes ventajas:

1. El nivel de lóbulo lateral de antena se reduce cuando la red 62 de antenas se inclina de manera eléctrica.

10 2. La fase de la portadora o señal de accionamiento del elemento 62_0 central cambia en 180 grados cuando la inclinación eléctrica atraviesa un valor medio y reduce adicionalmente el nivel del lóbulo lateral superior cuando se inclina hacia abajo.

3. El efecto de reducir el nivel del lóbulo lateral superior cuando la antena se inclina hacia abajo es reducir la interferencia provocada con móviles que usan canales distintos de los asignados al sistema 100 de antenas.

15 En referencia ahora a la figura 7, se muestra parte de una implementación 120 de la invención para una red 122 en fase de doce elementos 122_1 a 122_{12} . Los divisores 124_1 y 124_2 primero y segundo respectivamente reciben señales de entrada indicadas en este caso por vectores A y B: estos vectores son de igual potencia pero de fase relativa variable. Los divisores 124_1 y 124_2 implementan división en tres fracciones $a_1/a_2/a_3$ y $b_1/b_2/b_3$ respectivamente: es decir, las señales a_1A , a_2A y a_3A se emiten desde el divisor 124_1 y las fracciones de señales b_1B , b_2B y b_3B desde el divisor 124_2 . Las señales a_1A y b_1B pasan a los desfasadores 128_1 y 128_2 de relleno ϕ primero y segundo respectivamente. Las señales a_2A y b_3B pasan a las entradas I1 y I2 de un primer híbrido 134_1 de 180 grados de la clase descrita anteriormente. Las señales b_2B y a_3A pasan a las entradas I1 y I2 de un segundo híbrido 134_2 . Los híbridos 134_1 y 134_2 tienen salidas de diferencia D conectadas como entradas a los divisores 124_3 y 124_4 tercero y cuarto, que producen división de dos vías en fracciones c_1/c_2 y d_1/d_2 respectivamente. También tienen salidas de suma S conectadas a las entradas I1 de los híbridos 134_3 y 134_4 tercero y cuarto respectivamente.

20 Las señales de salida desde los desfasadores 128_1 y 128_2 primero y segundo pasan a los divisores 124_5 y 124_6 quinto y sexto produciendo una división de tres vías en fracciones $e_1/e_2/e_3$ y $f_1/f_2/f_3$ respectivamente. Las señales de salida desde el tercer divisor 124_3 pasan (fracción c_1) a una entrada I1 de un quinto híbrido 134_5 y (fracción c_2) a un tercer desfasador 128_3 de relleno ϕ . Las señales de salida desde el cuarto divisor 124_4 pasan (fracción d_1) a una entrada I1 de un sexto híbrido 134_6 y (fracción d_2) a un cuarto desfasador 128_4 de relleno ϕ . Las señales de salida desde el quinto divisor 124_5 pasan (fracción e_1) a una entrada I2 del quinto híbrido 134_5 , (fracción e_2) a un quinto desfasador 128_5 de relleno ϕ y (fracción e_3) a una entrada I2 del cuarto híbrido 134_4 . Las señales de salida desde el sexto divisor 124_6 pasan (fracción f_1) a una entrada I2 del sexto híbrido 134_6 , (fracción f_2) a un sexto desfasador 128_6 de relleno ϕ y (fracción f_3) a una entrada I2 del tercer híbrido 134_3 . A través de los desfasadores 136_1 a 136_{12} fijos respectivos (PS), los elementos 122_1 a 122_{12} de antena reciben señales de accionamiento desde salidas de los híbridos 134_3 y 134_6 tercero a sexto y los desfasadores 128_3 y 128_6 tercero a sexto tal como se expone en la tabla 3 a continuación.

40

Tabla 3

Elemento	Híbrido o desfasador	Amplitud de señal
122_1	Híbrido 134_6 , salida D	$0,5d_1(b_2B - a_3A) - 0,707b_1f_1B$
122_2	Desfasador 128_4	$0,707d_2(b_2B - a_3A)$
122_3	Híbrido 134_6 , salida S	$0,5d_1(b_2B - a_3A) + 0,707b_1f_1B$
122_4	Desfasador 128_6	b_1f_2B
122_5	Híbrido 134_4 , salida D	$0,5(b_2B + a_3A) - 0,707a_1e_3A$
122_6	Híbrido 134_4 , salida S	$0,5(b_2B + a_3A) + 0,707a_1e_3A$
122_7	Híbrido 134_3 , salida S	$0,5(a_2A + b_3B) + 0,707b_1f_3B$
122_8	Híbrido 134_3 , salida D	$0,5(a_2A + b_3B) - 0,707b_1f_3B$
122_9	Desfasador 128_5	a_1e_2A
122_{10}	Híbrido 134_5 , salida S	$0,5c_1(a_2A - b_3B) + 0,707a_1e_1A$
122_{11}	Desfasador 128_4	$0,707c_2(a_2A - b_3B)$
122_{12}	Híbrido 134_5 , salida D	$0,5c_1(a_2A - b_3B) - 0,707a_1e_1A$

Puesto que todos los términos al a f_3 son fracciones, todas las potencias de señal son en términos de fracciones de vectores de señales A y B introducidos a los divisores 124_1 y 124_2 primero y segundo respectivamente.

45

Los desfasadores 128_1 a 128_6 proporcionan compensación del desfase que tiene lugar en un híbrido (por ejemplo, 134_1). Por consiguiente, las señales o componentes de señales que no pasan a través de uno o más híbridos atraviesan dos desfasadores (por ejemplo, 128_1) y reciben un desfase de 360 grados antes de alcanzar los

elementos 122₃ y 122₉ de antena. Además, las señales o componentes de señales que pasan a través de un híbrido atraviesan un desfasador (por ejemplo, 128₄) y reciben un desfase relativo de ϕ antes de alcanzar los elementos de antena (por ejemplo, 122₂).

5

Tabla 4

Divisor	Salida de divisor	Razones de divisor	
		Voltaje	Decibelios
124 ₁ , 124 ₂	a1A, b1B	0,4690	-6,58
	a2A, b2B	0,8290	-1,63
	a3B, b3B	0,3040	-10,34
124 ₃ , 124 ₄	0,707c1(a2A-b3B), 0,707d1(b2B-a3A)	0,800	-1,94
	0,707c2(a2A-b3B), 0,707d2(b2B-a3A)	0,600	-4,43
124 ₅ , 124 ₆	a1e1Aa, a1e3A, b1f1B, b1f3B	0,2357	-12,55
	ale2A, b1f2B	0,9428	-0,51

La tabla 4 proporciona razones de divisor; se calculan amplitudes (voltajes) a partir de potencias normalizadas para sumar 1 vatio.

10 Haciendo referencia ahora a la figura 8, se muestra un diagrama de vectores para el sistema 120 de antenas cuando la diferencia de fase entre vectores de señal de entrada A y B es de 60 grados, que es el ángulo en el que el frente de fase de la red 122 de antenas se optimiza en este ejemplo. Las señales de accionamiento de elementos de antena se indican en magnitud y la fase mediante flechas de radios vectores en línea continua con números de referencia de elementos de antena 122₁ a 1.22₁₂ y potencias de señal (por ejemplo, ale2A). Las componentes (por ejemplo, a1e1A) de tales señales se indican mediante vectores lineales en línea discontinua o cadena. Las señales b1f2B y ale2A en elementos 122₄ y 122₉ de antena respectivos son fracciones de y están en fase con vectores de señal de entrada A y B, y están separados 60 grados en fase tal como se indica mediante dos flechas bidireccionales cada una marcada a 30 grados. Este dibujo contiene información completa con respecto a la magnitud de señal y la fase, y no se describirá adicionalmente.

20

Haciendo referencia a la figura 9, un sistema 150 de antenas de la invención se muestra para una red 152 en fase de n elementos 152₁ a 152_n empleando doble retardo variable, siendo n un número entero positivo arbitrario. Un primer divisor 154₁ recibe una señal de entrada Vin, y la divide en dos señales de las que una tiene dos veces la potencia de la otra. De estas dos señales, se encamina la señal de mayor potencia a un primer desfasador 156₁ variable y la señal de menor potencia a un primer desfasador 158₁ fijo. El primer desfasador 158₁ fijo proporciona una señal de salida a través de un segundo desfasador 158₂ fijo a un segundo divisor 154₂, que la divide en n fracciones de señal al a an para emitirla a través de un bus indicado por la trayectoria P. El primer desfasador 156₁ variable proporciona una señal de salida a un tercer divisor 154₃ que la divide en n fracciones de señal b1 a bn. Las fracciones de señal b2 a bn se emiten a través de un tercer desfasador 158₃ fijo y un bus indicado por la trayectoria Q. La fracción de señal b1 tiene una potencia igual a la de la señal alimentada al primer desfasador 158₁ fijo, y se encamina a un segundo desfasador 156₂ variable y de ahí a un cuarto divisor 154₄, que la divide en n fracciones de señal c1 a on para emitirla a través de un bus indicado por la trayectoria R. Los buses indicados por las trayectorias P, Q y R tienen conductores individuales Na, Nb y Nc respectivamente.

35 Las fracciones de señal en las trayectorias P, Q y R pasan a una red de desfase y combinación de señales indicada generalmente por 159. La red 159 es similar a la descrita con referencia a las figuras 3 y 4, y no se describirá adicionalmente. Tiene la función de combinar y desfasar señales para producir señales de accionamiento de elementos de antena que varían apropiadamente para la red 152 en fase. El uso de dos desfasadores 156₁ y 156₂ variables no es esencial, pero aumenta el rango de ángulos en los que puede inclinarse una antena de manera eléctrica en comparación con el uso de sólo uno. La figura 9 puede ampliarse con combinaciones adicionales de desfasadores variables y divisores si se requiere un rango más grande de inclinación: es decir, al igual que b 1 se desfasa de manera variable en 156₂ y se divide en 154₄, c1 puede desfasarse de manera variable y dividirse para producir d1 a dn, d1 puede desfasarse de manera variable y dividirse para producir e1 a en, etc.

45 Haciendo referencia ahora a la figura 10, se muestra un sistema 170 de antenas de la invención para una red 172 en fase de diez elementos 172₁ a 172₁₀ empleando un doble retardo variable acoplado mecánicamente. Es una variante del sistema 150 descrito con referencia la figura 9. Un primer divisor 174₁ recibe una señal de entrada Vin, y la divide en dos señales una de las cuales tiene dos veces la potencia de la otra. De estas dos señales, se encamina la señal de mayor potencia a un primer desfasador 176₁ variable y la señal de menor potencia a un primer desfasador 178₁ de -180 grados. La señal que pasa al primer desfasador 178₁ se designa como vector A. Proporciona una señal de salida a un segundo divisor 174₂, que divide la señal de salida en cuatro señales a1A a a4A.

50

El primer desfasador 176₁ variable proporciona una señal de salida a un tercer divisor 174₃ que divide esa señal de salida en dos señales de magnitud igual a la del vector A: una de estas dos señales se designa como vector B, y

pasa a un cuarto divisor 174₄ que la divide en tres señales b1B a b3B. La otra de estas dos señales pasa a través de un segundo desfasador 176₂ variable a un quinto divisor 174₅ al que se designa como vector C, y que la divide en tres señales c1C a c3C.

- 5 Las señales b1B y c1C pasan a elementos 172₃ y 172₈ de antena a través de desfasadores 182₃ y 182₈ de antena respectivamente. Las señales b2B, b3B, c2C y c3C respectivamente proporcionan señales de entrada l1 a híbridos 180₁, 180₂, 180₃ y 180₄ de 180 grados primero, segundo, tercero y cuarto de la clase descrita anteriormente. Estos híbridos proporcionan una red de combinación de señales. Las señales a1A a a4A, proporcionan señales de entrada 12 a estos híbridos respectivamente. A través de desfasadores 182₁, 182₂, 182₄ a 182₇, 182₉ y 182₁₀ fijos
10 respectivos (PS), los elementos 172₁, 172₂, 172₄ a 172₇, 172₉ y 172₁₀ de antena reciben señales de accionamiento desde salidas de los híbridos 180₁ a 180₄ con amplitudes tal como se exponen en la tabla 4 a continuación, a los que se han añadido los equivalentes para los elementos 172₃ y 172₈. En este caso N/A significa no aplicable.

Tabla 5

Elemento de antena	Salida del híbrido	Amplitud de señal
172 ₁	Híbrido 180 ₂ , salida S	0,707(b3B + a2A)
172 ₂	Híbrido 180 ₁ , salida S	0,707(b2B + a1A)
172 ₃	N/A	b1B
172 ₄	Híbrido 180 ₁ , salida D	0,707(b2B - a1A)
172 ₅	Híbrido 180 ₂ , salida D	0,707(b3B - a2A)
172 ₆	Híbrido 180 ₄ , salida S	0,707(c3C+ a4A)
172 ₇	Híbrido 180 ₃ , salida S	0,707(c2C+ a3A)
172 ₈	N/A	c1C
172 ₉	Híbrido 180 ₃ , salida D	0,707(c2C- a3 A)
172 ₁₀	Híbrido 180 ₄ , output D	0,707(c3C- a4 A)

- 15 Los valores de razones de divisor se proporcionan en la tabla 6 a continuación, en la que como antes los voltajes se han calculado a partir de potencias normalizadas para sumar 1 vatio.

Tabla 6

Divisor	Salida de divisor	Razones de divisor	
		Voltaje	Decibelios
174 ₂	a1A, a3A	0,3162	-10,00
	a2A, a4A	0,6324	-3,98
174 ₄	b1B, b2B, b3B	0,577	-4,78
174 ₅	c1C, c2C, c3C	0,577	-4,78

- 20 Los desfasadores 176₁ y 176₂ variables están acoplados mecánicamente tal como se indica por las flechas y las líneas discontinuas de modo que varían conjuntamente y proporcionan desfases iguales. Se controlan mediante un mecanismo 186 de control de inclinación.

- 25 Puede observarse a partir de la figura 10 que sólo la mitad superior de la red 172 (elementos 172₆ a 172₁₀ de antena) recibe contribuciones de señales asociadas con fracciones c1, etc. a partir del quinto divisor 174₅, habiendo experimentado estas contribuciones dos desfases variables en 176₁ y 176₂. Además, sólo la mitad inferior de la red 172, es decir elementos 172₁ a 172₅ de antena, recibe contribuciones de señales asociadas con fracciones b1, etc. a partir del cuarto divisor 174₄, habiendo experimentado estas contribuciones un desfase variable en 176₁. Ambas mitades de la red 172 (aparte de los elementos 172₃ y 172₈ de antena) reciben contribuciones de señales a1A, etc. a
30 partir del segundo divisor 174₂, no habiendo experimentado estas contribuciones un desfase variable en 176₁ ó 176₂.

- Haciendo referencia ahora a la figura 11, el sistema de antenas de la invención puede implementarse como un sistema de alimentador individual o un sistema de alimentador dual. En un sistema de alimentador individual, una
35 única entrada 200 de señal suministra una señal Vin a través de un alimentador 202 a un conjunto 204 de antena que puede montarse en un mástil con una red 206 de antenas. La división de señales, el desfase variable y fijo y la combinación vectorial tal como se describieron anteriormente se implementan en el conjunto 204 en el mástil. Esto tiene la ventaja de que se requiere sólo una alimentación de señal para pasar al sistema de antenas desde un usuario remoto, pero al contrario, un operador remoto no puede ajustar el ángulo de inclinación eléctrica sin acceder
40 al conjunto 204 de antena en el mástil. Además, todos los operadores que comparten una única antena tendrían el mismo ángulo de inclinación eléctrica.

La figura 12 muestra un sistema de antenas de la invención implementado como un sistema 210 de alimentador dual. Este sistema tiene una sección 212 de control de inclinación que genera dos señales V2A y V2B tal como se

describió anteriormente, y estas señales se alimentan a través de alimentadores 214A y 214B respectivos a una red 216 de antenas. La sección 212 de control de inclinación ahora puede ubicarse con un usuario de manera remota respecto a la red 60 de antenas y el mástil en el que está montada, y una red 218 de alimentación de antena (véase por ejemplo la figura 4) puede ubicarse conjuntamente con la red 216 de antenas. La división de señales, el desfase fijo (si se desea también un desfase variable adicional) y la combinación de vectores tal como se describió anteriormente se implementan en el conjunto. Un usuario ahora puede tener acceso directo a la sección 212 de control de inclinación para ajustar el ángulo de inclinación eléctrica de manera remota respecto a la red 60 de antenas y el mástil, y puede realizar este ajuste independientemente de otros usuarios que comparten el conjunto de antena.

En una instalación de alimentador dual también es conveniente reducir la sensibilidad de inclinación para disminuir los efectos de diferencias de fase entre alimentadores, por ejemplo una diferencia entre el ángulo de inclinación eléctrica requerido por el operador y el de la antena. Con una sección 212 de control de inclinación respectiva ubicada con cada operador, y en un lado de entrada de un combinador selectivo en frecuencia ubicado en una estación base del operador es posible implementar un sistema de antenas compartido con un ángulo de inclinación individual para cada operador.

La figura 13 muestra un sistema 240 de antenas de red en fase de la invención equivalente al que se mostró en la figura 3 con modificación para su uso en modos tanto de recepción como de transmisión. Las partes descritas previamente tienen las mismas referencias con un prefijo 200 y sólo se describirán cambios. Un desfasador 246 variable con el que se controla la inclinación se usa ahora sólo en modo de transmisión (Tx), y se conecta en una trayectoria 243 de transmisión entre y en serie con filtros 245 y 247 paso banda (BPF). También hay una trayectoria 249 de recepción (Rx) similar con un desfasador 251 variable entre y en serie con filtros 253 y 255 paso banda y un amplificador de ruido bajo o LNA 257. Las frecuencias de transmisión y recepción son normalmente lo suficientemente diferentes para permitir que se aislen la una de la otra mediante filtros 245, etc. paso banda.

Hay segundas trayectorias 243f y 249f de transmisión y recepción en gran parte equivalentes y adicionales asociadas con desfases fijos ψ : éstos tienen elementos con las mismas referencias con un sufijo f. La segunda trayectoria 243f de transmisión tiene un desfasador 246f fijo entre los filtros 245f y 247f paso banda. La segunda trayectoria 249f de recepción tiene un desfasador 251f fijo y LNA 257f entre los filtros 253f y 255f paso banda.

Además de operar en modo de transmisión, los elementos 242, 244, 252, 254, 256 y 258 a 265 tienen la capacidad de operar a la inversa en el modo de recepción con, por ejemplo, divisores que se vuelven combinadores. La única diferencia entre los dos modos es que en el modo de transmisión el alimentador 265 proporciona una entrada y las trayectorias 243 y 243f de transmisión se atraviesan por una señal de transmisión de izquierda a derecha, mientras que en el modo de recepción las trayectorias 249 y 249f de recepción se atraviesan por señales de recepción de izquierda a derecha y el alimentador 265 proporciona su salida combinada. Las señales de recepción se generan en el conjunto de circuitos 264₁ a 264_n y 260 a 254 mediante desfase y combinación de señales de elementos de antena generadas por la red 262 en respuesta a una recepción de una señal desde el espacio libre. El sistema 240 es ventajoso porque permite que los ángulos de inclinación eléctrica en los modos tanto de transmisión como de recepción puedan ajustarse independientemente y que sean iguales: normalmente (y desventajosamente) esto no es posible porque los componentes de sistema de antenas tienen propiedades dependientes en frecuencia que difieren a diferentes frecuencias de transmisión y recepción.

Haciendo referencia ahora a la figura 14, se muestra un sistema 300 de antenas de red en fase de la invención para su uso en modos de transmisión y recepción mediante múltiples (dos) operadores 301 y 302 de una única antena 305 de red en fase. Las partes equivalentes a las descritas previamente tienen las mismas referencias con un prefijo 300. El dibujo tiene varios canales diferentes: las partes en canales diferentes que son equivalentes tienen numéricamente las mismas referencias con uno o más sufijos: un sufijo T o R indica un canal de recepción o transmisión, un sufijo 1 ó 2 indica el operador 301 ó 302 primero o segundo, y un sufijo A o B indica la trayectoria A o B. La omisión de estos sufijos del prefijo de número de referencia (por ejemplo 342) significa que se hace referencia a todos los elementos que tienen ese prefijo.

Inicialmente, se describirá un canal 307T1 de transmisión del primer operador 301. El canal de transmisión tiene una entrada 342 de RF que alimenta un divisor 344T1, que divide la entrada entre desfasadores 346T1A y 348T1B variable y fijo. Las señales pasan desde los desfasadores 346T1A y 348T1B a los filtros 309T1A y 309T1B paso banda (BPF) en diferentes duplexores 311A y 311B respectivamente. Los filtros 309T1A y 309T1B paso banda tienen centros paso banda a una frecuencia de transmisión del primer operador 301, designándose esta frecuencia como Ftx1 tal como se indica en el dibujo. El primer operador 301 también tiene una frecuencia de recepción designada como Frx1, y los equivalentes para el segundo operador 302 son Ftx2 y Frx2.

La señal de transmisión del primer operador a frecuencia Ftx1 emitida desde el filtro 309T1A paso banda más a la izquierda se combina por el primer duplexor 311A con una señal de transmisión del segundo operador derivada de manera similar a frecuencia Ftx2 emitida desde un filtro 309T2A paso banda adyacente. Estas señales combinadas pasan a lo largo de un alimentador 313A a una red 315 de inclinación de antena de la clase descrita en ejemplos

- anteriores, y de ahí a la antena 305 de red en fase. De manera similar, la otra señal de transmisión del primer operador a frecuencia F_{tx1} emitida desde el filtro 309T1B paso banda se combina por el segundo duplexor 311B con una señal de transmisión del segundo operador derivada de manera similar a frecuencia F_{tx2} emitida desde un filtro 309T2B paso banda adyacente. Estas señales combinadas pasan a lo largo de un segundo alimentador 313B a la antena 305 de red en fase a través de una red 315 de inclinación de antena. A pesar de usar la misma antena 305 de red en fase, los dos operadores pueden alterar sus ángulos de inclinación eléctrica de transmisión tanto independientemente como de manera remota desde la antena 305 ajustando meramente un único desfasador variable en cada caso, es decir el desfasador 346T1A o 346T2A variable respectivamente.
- De manera análoga, las señales de recepción que vuelven desde la antena 305 a través de la red 315 y los alimentadores 313A y 313B se dividen por los duplexores 311A y 311B. Estas señales divididas se filtran entonces para aislar frecuencias F_{rx1} y F_{rx2} individuales en filtros 309R1A, 309R2A, 309R1B y 309R2B paso banda, que proporcionan señales a desfasadores 34GR1A, 346R2A, 348R1B y 348R2B variables y fijos respectivamente. Los ángulos de inclinación eléctrica de recepción pueden ajustarse entonces por los operadores 301 y 302 independientemente ajustando sus desfasadores 346R1A y 346R2A variables respectivamente. Las señales para más de dos operadores pueden combinarse en transmisión o separarse en recepción replicando componentes: es decir en lugar de componentes con sufijos 1 y 2 habría componentes similares con sufijos 1 a m, siendo m el número de operadores.
- La figura 15 muestra un sistema 470 de antenas de red en fase de la invención en gran parte igual al que se muestra en la figura 10. La partes descritas previamente tienen las mismas referencias con un prefijo 400 que sustituye al 100 y sólo se describirán modificaciones. El sistema 470 tiene un primer divisor 474, que divide una señal portadora de RF de entrada en 473 en dos partes, de las cuales una pasa a través de un primer desfasador 476_1 variable al primer alimentador 477_1 y la otra directamente a un segundo alimentador 477_2 . Los elementos 473 a 477_2 están ubicados en o cerca de una estación base de radio móvil celular (no mostrada). Los alimentadores 477_1 y 477_2 conectan la estación base a un radomo 479 de antena remoto, en el que está ubicado un segundo desfasador 476_2 variable.
- El sistema 470 opera tal como se describió anteriormente con referencia a la figura 10, excepto porque los desfasadores 476_1 y 476_2 variables primero y segundo ya no están acoplados mecánicamente sino que en cambio se ajustan independientemente. Proporciona la ventaja de que puede proporcionarse un ángulo de inclinación eléctrica individual para cada operador que comparte la antena 472 (usando combinación selectiva en frecuencia tal como la que se muestra en la figura 14) pero el rango de inclinación, común para todos los operadores, se amplía. En la práctica, el ángulo de inclinación eléctrica establecido por el segundo desfasador 476_2 variable puede ser convenientemente el promedio de los ángulos de inclinación eléctrica individuales de todos los operadores que comparten la antena 472.
- Aunque la figura 15 muestra un ajuste del segundo desfasador 476_2 variable dentro del radomo 479 de antena, también puede establecerse de manera remota respecto al radomo 479 usando un controlador de servomecanismo (no mostrado). Pueden añadirse desfasadores variables adicionales al sistema 470 de antenas según la invención para ampliar adicionalmente el rango de inclinación común para todos los operadores.
- La figura 16 muestra una realización adicional de un sistema 500 de antenas de red en fase de la invención empleando un divisor SP_1 de entrada, acopladores SP_2 y SP_3 de línea paralelos (PLC) e híbridos SP_4 a SP_{11} y H_1 a H_6 de anillo de 180 grados. En este caso SP en SP_1 , etc. indica un divisor y H en H_1 , etc. indica un híbrido usado como un generador de suma y diferencia (SD). Cada uno de los híbridos SP_4 a SP_{11} y H_1 a H_6 tiene cuatro puertos, es decir puertos de entrada primero y segundo y puertos de salida primero y segundo indicados respectivamente mediante flechas dirigidas hacia dentro y hacia fuera. Los puertos de salida de cada uno de los híbridos H_1 a H_6 de generador SD son salidas de suma y diferencia indicadas por S y D respectivamente. Cada puerto de un híbrido SP_4 a SP_{11} y H_1 a H_6 de anillo individual está separado de un puerto por una distancia $\lambda/4$ y de otro puerto por una distancia $3\lambda/4$ alrededor de la circunferencia de anillo en cada caso. En este caso λ es la longitud de onda de la señal Vin en el material de anillo.
- Una señal aplicada a un puerto de entrada de cualquiera de los híbridos SP_4 a SP_{11} y H_1 a H_6 de anillo se divide en dos componentes que pasan respectivamente en sentido horario y en sentido antihorario alrededor del anillo, que en sí tiene una circunferencia de $(n+1/2)\lambda$, donde n es un número entero: estas componentes tienen amplitudes relativas determinadas por las impedancias relativas de las trayectorias en el anillo por el que pasan, lo que permite preestablecer las razones de divisor. Dos señales recibidas desde puertos de entrada respectivos alejados $\lambda/4$ de un puerto de salida estarán en fase y se sumarán entre sí para proporcionar una salida de suma. Dos señales recibidas desde puertos de entrada respectivos alejados $\lambda/4$ y $3\lambda/4$ de un puerto de salida estarán en contrafase y se restarán una de otra para proporcionar una salida de diferencia. En un puerto de salida alejado $\lambda/2$ de un puerto de entrada, dos señales recibidas a través de trayectorias en sentido horario y en sentido antihorario respectivamente desde un puerto de entrada estarán en contrafase y proporcionarán una resultante cero si las impedancias de trayectoria son iguales: por tanto, esto aísla los puertos alejados $\lambda/2$ uno de otro.

Cada híbrido SP_4 a SP_{11} de anillo usado como divisor tiene un primer terminal de entrada (flecha dirigida hacia dentro) conectado para recibir una señal de entrada y un segundo terminal de entrada conectado a una terminación respectiva T (una carga compensada). La terminación T proporciona una señal de entrada de cero: por consiguiente, los híbridos de anillo o divisores SP_4 a SP_{11} dividen las señales en sus primeros terminales de entrada entre sus terminales de salida respectivos con razones de división respectivas determinadas por la razón de las impedancias entre terminales de entrada y salida en cada caso.

En el sistema 500, como en realizaciones anteriores, una señal de entrada V_{in} se divide por el primer divisor SP_1 en dos señales iguales que se reducen, cada una, a -3dB en comparación con la potencia de la señal de entrada V_{in} : una señal así formada atraviesa un desfasador 502 variable y aparece en un primer alimentador 504 como vector A. La otra señal así formada aparece en un segundo alimentador 506 como vector B; es posible incluir un desfase fijo (no mostrado) entre el primer divisor SP_1 y el segundo alimentador 506 tal como se describió anteriormente.

Los vectores de señal A y B pasan como entradas a los PLC SP_2 y SP_3 respectivamente, cada uno de los cuales tiene dos terminales O_1 y O_2 de salida y un cuarto terminal T_4 terminado en una carga compensada T que proporciona una señal de entrada de cero. A partir de esta entrada cada uno de los PLC SP_2 y SP_3 genera señales en terminales O_1 y O_2 de salida que se reducen en potencia hasta -0.12dB y -16.11dB respectivamente en relación con la señal de entrada en cada caso. Las dos señales resultantes -0.12dB desde los PLC SP_2 y SP_3 se alimentan a los primeros terminales de entrada de los divisores SP_5 y SP_8 quinto y octavo respectivamente, mientras que las señales -16.11dB se alimentan a los primeros terminales de entrada de los divisores SP_6 y SP_7 sexto y séptimo respectivamente.

El quinto divisor SP_5 divide su señal de entrada en señales de salida que se reducen en potencia por debajo de la de la señal de entrada hasta -5.3dB y -1.5dB, y estas señales de salida se alimentan a los primeros terminales de entrada del cuarto divisor SP_4 y el primer generador H_1 de SD respectivamente. De manera similar, el octavo divisor SP_8 divide su señal de entrada -0.12dB en señales de salida -5.3dB y -1.5dB por debajo de la señal de entrada, y estas señales de salida se alimentan respectivamente a los primeros terminales de entrada del noveno divisor SP_9 y el segundo generador H_2 de SD.

El cuarto divisor SP_4 divide su señal de entrada -5.42dB en señales de salida -1.68dB y -4.94dB por debajo de su señal de entrada: de éstas la señal de salida -1.68dB se alimenta a través de una línea L_4 a un desfasador PE4 fijo y de ahí a un elemento E4 de antena de una red E de antenas de doce elementos. Hay una línea de este tipo L_n para cada combinación de desfasador fijo/elemento de antena PE_n/En ($n = 1$ a 12): la conexión de la línea L_n al desfasador PE_n fijo no se muestra explícitamente para evitar demasiadas líneas superpuestas, pero se indica por "PE n " al final de la línea L_n en cada caso. La señal de salida -4.94dB desde el cuarto divisor SP_4 se alimenta al segundo terminal de entrada del segundo generador H_2 de SD.

El noveno divisor SP_9 divide su señal de entrada en señales de salida -1.68dB y -4.94dB por debajo de su señal de entrada: de éstas la señal de salida -1.68dB se alimenta a través de una línea L_9 a un elemento E9 de antena a través de un desfasador PE9 fijo. La señal de salida 4.94dB se alimenta al segundo terminal de entrada del primer generador H_1 de SD.

El sexto divisor SP_6 es un divisor igual que produce dos señales de salida cada una de 3dB por debajo de su señal de entrada: de estas señales de salida una se alimenta al primer terminal de entrada del quinto generador H_5 de SD, y la otra se alimenta al primer terminal de entrada del tercer generador H_3 de SD. El séptimo divisor SP_7 también es un divisor igual que produce dos señales de salida cada una de 3dB por debajo de su señal de entrada, y las señales de salida se alimentan a los primeros terminales de entrada de los generadores H_4 y H_6 cuarto y sexto de SD respectivamente. El primer generador H_1 de SD tiene una salida de suma S conectada al segundo terminal de entrada del cuarto generador H_4 de SD. Tiene una salida de diferencia D conectada a un terminal de entrada del décimo divisor SP_{10} . De manera similar, el segundo generador H_2 de SD tiene una salida de suma S conectada al segundo terminal de entrada del quinto generador H_5 de SD. Tiene una salida de diferencia D conectada a un terminal de entrada del undécimo divisor SP_{11} .

El décimo divisor SP_{10} es un divisor igual que produce dos señales de salida iguales cada una de 3dB por debajo de su señal de entrada desde el primer generador H_1 de SD. Una de estas señales de salida se alimenta a través de una línea L_2 a un elemento E2 de antena a través de un desfasador PE2 fijo. La otra de estas señales de salida se alimenta al segundo terminal de entrada del tercer generador H_3 de SD. De manera similar, el undécimo divisor SP_{11} también es un divisor igual que produce dos señales de salida iguales cada una de 3dB por debajo de la señal de entrada desde el segundo generador H_2 de SD. Una de estas señales de salida se alimenta a través de una línea L_{11} a un elemento E11 de antena a través de un desfasador PE11 fijo y la otra se alimenta al segundo terminal de entrada del sexto generador H_6 de SD. Los generadores H_3 a H_6 tercero a sexto de SD tienen salidas de suma y diferencia S y D que proporcionan señales de accionamiento a elementos E1, E3, E5 a E8, E10 y E12 de antena a través de las líneas L_1 , L_3 , L_5 a L_8 , L_{10} y L_{12} y los desfasadores PE1, PE3, PE5 a PE8, PE10 y PE12 fijos respectivamente. La comparación directa de la potencia de la señal de entrada V_{in} con potencias de señales

recibidas por elementos de antena pueden realizarse añadiendo los valores dB marcados por cada trayectoria de señal (ignoradas pérdidas en componentes no ideales): por ejemplo, el elemento E4 de antena recibe una señal que se ha reducido en comparación con la potencia de entrada a -3dB, -0,12dB, -5,3dB y -1,68dB en los divisores SP₁, SP₃, SP₅ y SP₄, respectivamente, un total de -9,1dB. No se describirá el ajuste de fase relativo de señales de accionamiento de elementos de antena puesto que el análisis es equivalente *mutatis mutandis* a los que se proporcionaron para realizaciones anteriores.

Las realizaciones de la invención descrita anteriormente usan híbridos de 180 grados. Pueden sustituirse, por ejemplo, por híbridos "en cuadratura" de 90 grados con la adición de desfasadores de 90 grados para obtener la misma funcionalidad global, pero es menos práctico.

Se han descrito ejemplos de la invención basándose en una confección secuencial de divisores e híbridos, abreviados como (S-H). A partir de éstos, pueden concebirse ejemplos adicionales de la invención con más fases, por ejemplo S-H-S, -S-H-S-H, etc.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de antenas de red en fase con inclinación eléctrica ajustable y que comprende una red (62) de elementos (62₁ a 62_n) de antena, incorporando el sistema:
 - a) un desfaseador (46) variable para introducir un desfase relativo variable entre señales de RF primera y segunda,
 - b) un aparato (52, 54) de división para dividir la primera señal de RF relativamente desfasada en primeras señales de componente en el que al menos algunas de las primeras señales de componente varían en potencia de señal, y la segunda señal de RF relativamente desfasada en segundas señales de componente en el que al menos algunas de las segundas señales de componente varían en potencia de señal, y
 - c) una red (56 a 64_n) de combinación de señales para combinar señales de componente primeras y segundas para proporcionar señales de accionamiento de elementos de antena, en el que la red (56 a 64_n) de combinación de señales incluye dispositivos de combinación de vectores de RF dispuestos para formar combinaciones vectoriales de primeras señales de componente con segundas señales de componente con el fin de proporcionar una señal de accionamiento respectiva para cada elemento (62_o a 62_n) de antena individual, variando las señales de accionamiento en fase según una función sustancialmente lineal de posición de elemento de antena en la red (62) según se requiere para una operación de red en fase y pudiendo ajustarse el ángulo de inclinación eléctrica de la red (62) en respuesta a la alteración del desfase relativo variable introducido por el desfaseador (46) variable.
2. Sistema según la reivindicación 1, **caracterizado porque** tiene un número impar de elementos (62_o a 62₁₀) de antena.
3. Sistema según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el desfaseador (46) variable es un primer desfaseador (156₁, 176₁) variable y el sistema incluye un segundo desfaseador (156₂, 176₂) variable dispuesto para desfasar una señal de componente que se ha desfasado por el primer desfaseador (156₁, 176₁) variable, proporcionando el segundo desfaseador (156₂, 176₂) variable una salida de señal de componente adicional para la red de combinación de señales o bien directamente o bien a través de una o más combinaciones de desfaseador variable/divisor.
4. Sistema según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el desfaseador variable es uno de una pluralidad de desfaseadores (156₁, 156₂, 176₁, 176₂) variables, y la red de combinación de señales está dispuesta para producir señales de accionamiento de elementos de antena a partir de señales de componente de las que algunas han atravesado todos los desfaseadores variables y algunas no.
5. Sistema según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el aparato (154₁ a 154₄) de división está dispuesto para dividir una señal de componente en señales de componente adicionales para la entrada a la red de combinación de señales (159, VCN, PHi.A3 etc.).
6. Sistema según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la red (170) de combinación de señales emplea desfaseadores (128₁ a 128₆) y acopladores (134₁ a 134₆) híbridos (híbridos) para desfasar y combinar de manera vectorial las señales de componente.
7. Sistema según la reivindicación 6, **caracterizado porque** los híbridos son híbridos (134₁ a 134₆) de 180 grados.
8. Sistema según la reivindicación 6, **caracterizado porque** los híbridos son híbridos (H₁ a H₆) de anillo con circunferencia $(n+1/2)\lambda$ y puertos vecinos separados por $\lambda/4$, donde λ es una longitud de onda de señales de RF en el material en el que se construye cada híbrido de anillo.
9. Sistema según la reivindicación 6, **caracterizado porque** los híbridos están diseñados para convertir señales I1 y I2 de entrada en sumas y diferencias de vectores distintas de (I1+I2) y (I1-I2).
10. Sistema según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el aparato de división incorpora híbridos (SP₄ a SP₁₁) de anillo con circunferencia $(n+1/2)\lambda$ y puertos de entrada y salida vecinos separados por $\lambda/4$, terminándose un puerto de entrada de cada híbrido (SP₄ a SP₁₁) con una resistencia (T) igual a la impedancia de sistema y que forma una carga compensada.
11. Sistema según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el aparato de división, el desfaseador variable y la red de combinación de señales están ubicados conjuntamente con la red (206) de antenas como un conjunto (204) de antena, y el conjunto tiene un único alimentador (202) de potencia de entrada de RF

desde una fuente (200) remota.

12. Sistema según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el aparato de división incorpora divisores primero, segundo y tercero, el primer divisor está ubicado (212) con el desfasador variable de manera remota respecto a los divisores segundo y tercero, y los divisores segundo y tercero, la red de combinación de señales y la red (216) de antenas están ubicados conjuntamente como un conjunto de antena, y el conjunto tiene alimentadores (214A, 214B) de potencia de entrada de RF duales desde una fuente remota en la que están ubicados el primer divisor y desfasador variable.
13. Sistema según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el desfasador variable es un primer desfasador (246) variable conectado en un canal (243) de transmisión y el sistema incluye un segundo desfasador (251) variable conectado en un canal (249) de recepción y canales (243f, 249f) de recepción y transmisión adicionales que proporcionan desfases fijos, y la red (240₄) de combinación de señales está dispuesta para operar en modos tanto de transmisión como de recepción produciendo señales de accionamiento de elementos de antena en respuesta a señales en los canales (243, 243f) de transmisión y produciendo señales de canal de recepción a partir de señales desarrolladas por elementos (262) de antena que operan en modo de recepción con inclinación eléctrica independientemente ajustable en cada modo.
14. Sistema según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el desfasador variable es uno de una pluralidad de desfasadores (346T1A, 346R1A, 346T2A, 346R2A) variables asociados con respectivos operadores, y el sistema incluye un aparato (311A, 311B) de filtración y combinación para encaminar señales al aparato (313A, 313B) de alimentación de señales común después de la división en el aparato (344T1, 344R1, 344T2, 344R2) de división y el desfase en los desfasadores (346T1A, 346T2A) variables, de manera que las señales atraviesan el aparato (313A, 313B) de alimentación de señales común hacia la antena (305) conteniendo contribuciones de ambos operadores a través del aparato (313A, 313B) de alimentación de señales común.
15. Sistema según la reivindicación 14, **caracterizado porque** la pluralidad de desfasadores variables comprende un par respectivo de desfasadores (346T1A y 346R1A o 346T2A y 346R2A) variables asociados con cada operador, y el sistema tiene componentes (311, 313, 315, 344, 346) que tienen capacidades de procesamiento de señales tanto directo como inverso de manera que el sistema (300) puede operar en modos de transmisión y de recepción con inclinación eléctrica independientemente ajustable en ambos modos.
16. Sistema según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la red (56 a 64_n) de combinación de señales está dispuesta para proporcionar señales de accionamiento de elementos de antena de las que dos señales de accionamiento comprenden partes de señales (A o B) de RF primera o segunda relativamente desfasadas individuales y comprendiendo otras señales de accionamiento diferentes combinaciones de partes de señales (A y B) de RF primera y segunda relativamente desfasadas, o bien una o bien dos partes de una (A o B) de las señales de RF primera y segunda y una parte de la otra (B o A).
17. Método para ajustar la inclinación eléctrica de un sistema de antenas de red en fase, incluyendo el sistema una red (62) de elementos (62₁ a 62_n) de antena, e incorporando el método las etapas de:
 - a) introducir un desfase relativo variable entre señales de RF primera y segunda,
 - b) dividir las señales de RF primera y segunda relativamente desfasadas respectivamente en una pluralidad de primeras señales de componente en el que al menos algunas de las primeras señales de componente varían en potencia de señal y en una pluralidad de segundas señales de componente en el que al menos algunas de las segundas señales de componente varían en potencia de señal, y
 - c) combinar señales de componente primeras y segundas para proporcionar señales de accionamiento de elementos de antena,en el que la etapa de combinación c) forma combinaciones vectoriales de primeras señales de componente con segundas señales de componente usando dispositivos de combinación de vectores de RF para proporcionar una señal de accionamiento respectiva para cada elemento (62₀ a 62_n) de antena individual, variando las señales de accionamiento en fase según una función sustancialmente lineal de posición de elemento de antena en la red (62) según se requiere para una operación de red en fase y pudiendo ajustarse el ángulo de inclinación eléctrica de la red (62) en respuesta a la alteración del desfase relativo variable introducido por el desfasador (46) variable.
18. Método según la reivindicación 17, **caracterizado porque** la red (62) tiene un número impar de elementos de antena.

19. Método según la reivindicación 17, **caracterizado porque** incluye generar al menos una señal de componente que ha experimentando un desfase en una pluralidad de desfasadores (156₁, 156₂, 176₁, 176₂) variables.
- 5 20. Método según la reivindicación 19, **caracterizado porque** los desfasadores (176₁, 176₂) variables están acoplados mecánicamente, y el método incluye producir señales de accionamiento de elementos de antena a partir de señales de componente de las que algunas han atravesado todos los desfasadores (176₁, 176₂) variables, y algunas no.
- 10 21. Método según la reivindicación 17, **caracterizado porque** incluye dividir una señal de componente en señales de componente adicionales para la entrada a la red de combinación de señales (159, VCN, PHI.A3 etc.).
- 15 22. Método según la reivindicación 17, **caracterizado porque** emplea desfasadores (46) e híbridos (60₁ a 60₄) para desfasar y combinar de manera vectorial las señales de componente.
- 20 23. Método según la reivindicación 22, **caracterizado porque** los híbridos son híbridos (60₁ a 60₄) de 180 grados.
- 20 24. Método según la reivindicación 22, **caracterizado porque** los híbridos son híbridos (H₁ a H₆) de anillo con circunferencia $(n+1/2)\lambda$, y puertos de entrada y salida vecinos separados por $\lambda/4$, donde n es un número entero y λ es la longitud de onda de señales de RF en el material en el que se construye cada híbrido de anillo.
- 25 25. Método según la reivindicación 24, **caracterizado porque** los híbridos (H₁ a H₆) están diseñados para convertir señales I1 y I2 de entrada en sumas y diferencias de vectores distintas de (I1+I2) y (I1-I2).
26. Método según la reivindicación 17, **caracterizado porque** la etapa de dividir las señales de RF primera y segunda relativamente desfasadas respectivamente en señales de componente primera y segunda se implementa usando híbridos (SP₄ a SP₁₁) de anillo con circunferencia $(n+1/2)\lambda$ y puertos de entrada y salida vecinos separados por $\lambda/4$, terminándose un puerto de entrada de cada híbrido (SP₄ a SP₁₁) con una resistencia (T) igual a la impedancia de sistema y que forma una carga compensada.
- 30 27. Método según la reivindicación 17, **caracterizado porque** incluye alimentar una única señal de entrada de RF desde una fuente (200) remota para la división, desfase variable y combinación vectorial en una red ubicada conjuntamente con la red de antenas para formar un conjunto (204) de antena.
- 35 28. Método según la reivindicación 17, **caracterizado porque** incluye alimentar dos señales de entrada de RF con fase variable una respecto a la otra desde una fuente remota a un conjunto de antena y dividir, combinar y desfasar señales en una red (218) ubicada conjuntamente con la red (216) de antenas.
- 40 29. Método según la reivindicación 17, **caracterizado porque** emplea canales (243, 249, 243f, 249f) de recepción y transmisión para operación en modos tanto de transmisión como de recepción, e incluye producir señales de accionamiento de elementos de antena en respuesta a señales en los canales (243, 243f) de transmisión y producir señales de canal de recepción a partir de señales desarrolladas por elementos (262) de antena que operan en modo de recepción con inclinación eléctrica independientemente ajustable en cada modo.
- 45 30. Método según la reivindicación 17, **caracterizado porque** el desfase variable se introduce por uno de una pluralidad de desfasadores (346T1A, 346R1A, 346T2A, 346R2A) variables asociados con respectivos operadores, y el método incluye:
 - a) filtrar y combinar señales en una red (346T1A a 346R2B, 311A, 311B) de combinación de señales y pasarlas al aparato (313A, 313B) de alimentación de señales común después de la división en el aparato (344T1, 344R1, 344T2, 344R2) de división y el desfase en los desfasadores (346T1A, 346T2A) variables;
 - 55 b) proporcionar señales a la antena (305) que contienen contribuciones de ambos operadores a través del aparato (313A, 313B) de alimentación de señales común; y
 - 60 c) ajustar la inclinación eléctrica asociada con cada operador independientemente.
- 65 31. Método según la reivindicación 30, **caracterizado porque** la pluralidad de desfasadores variables comprende un par respectivo de desfasadores (346T1A y 346R1A o 346T2A y 346R2A) variables asociados con cada operador, el método emplea componentes que tienen capacidades de procesamiento de señales tanto directo como inverso, y el método incluye operar en modos de transmisión y de recepción

con inclinación eléctrica independientemente ajustable en cada modo.

- 5 32. Método según la reivindicación 17, **caracterizado porque** las señales de accionamiento de elementos de antena incluyen dos señales de accionamiento que comprenden partes de señales (A o B) de RF primera o segunda relativamente desfasadas individuales y otras señales de accionamiento que comprenden diferentes combinaciones de partes de señales (A y B) de RF primera y segunda relativamente desfasadas, o bien una o bien dos partes de una (A o B) de las señales de RF primera y segunda y una parte de la otra (B o A).

Fig.1 a.

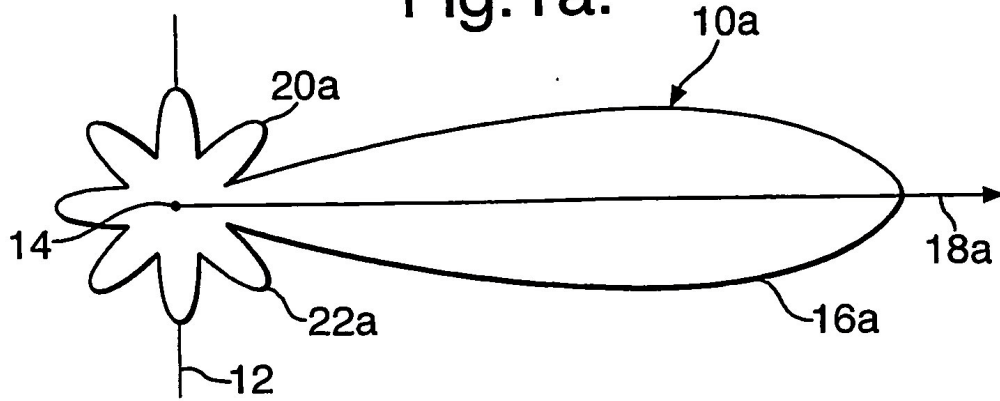


Fig.1 b.

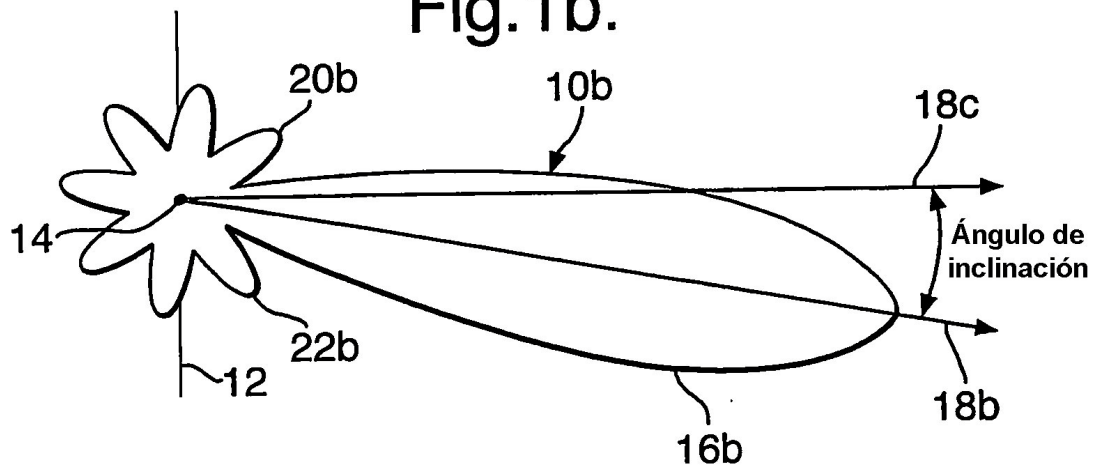


Fig.2.

(Técnica anterior)

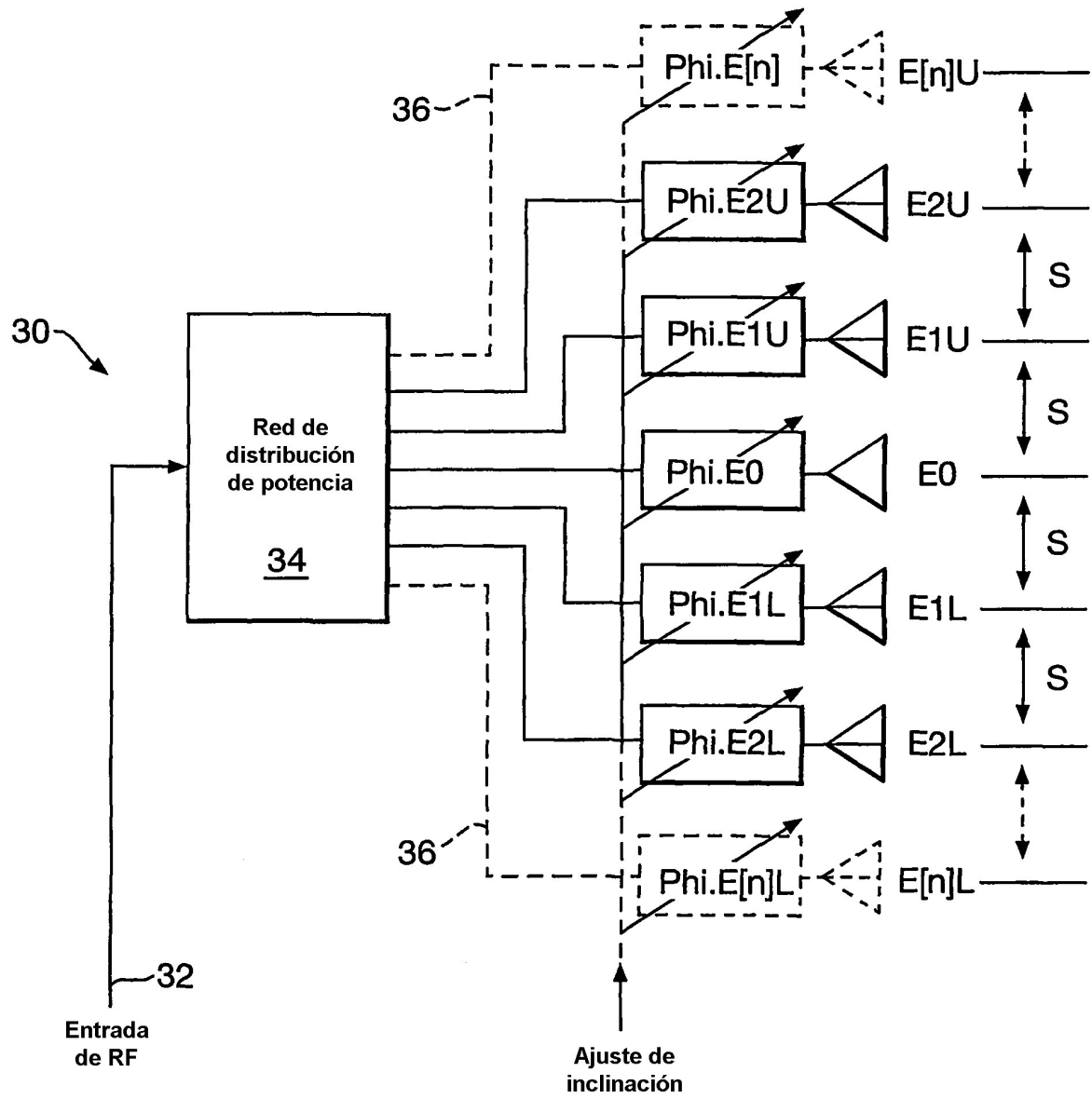


Fig.3.

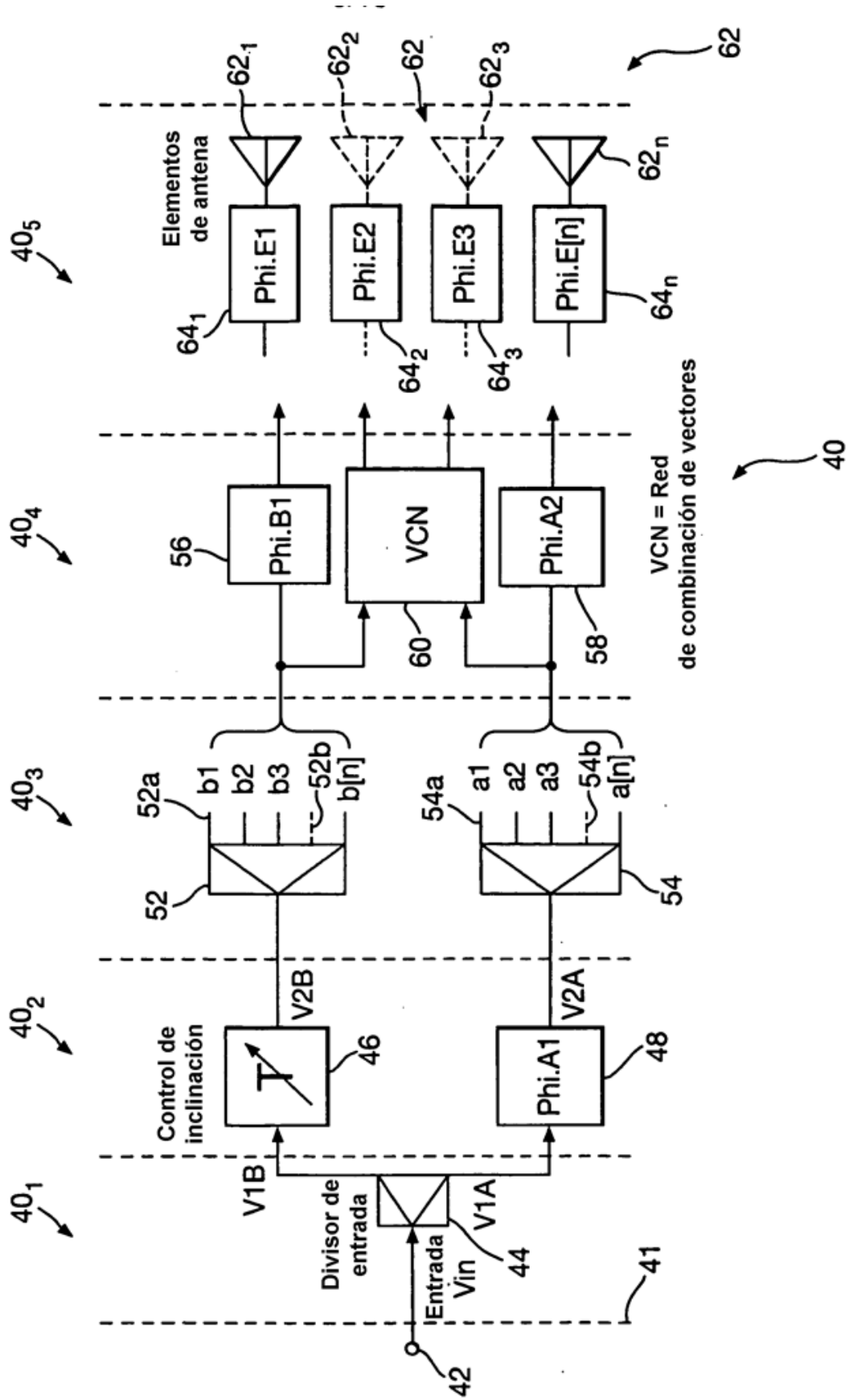


Fig.4.

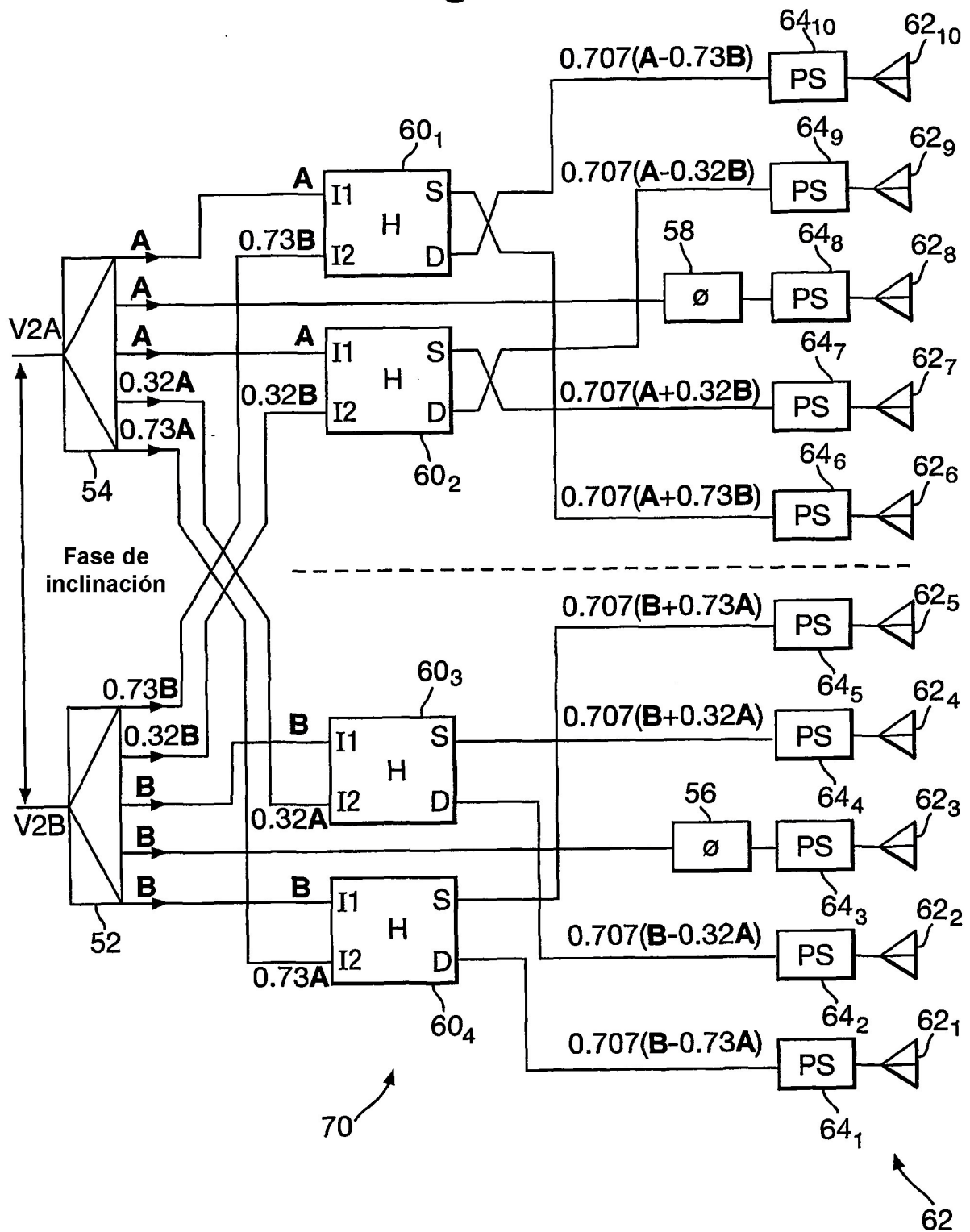


Fig.5.

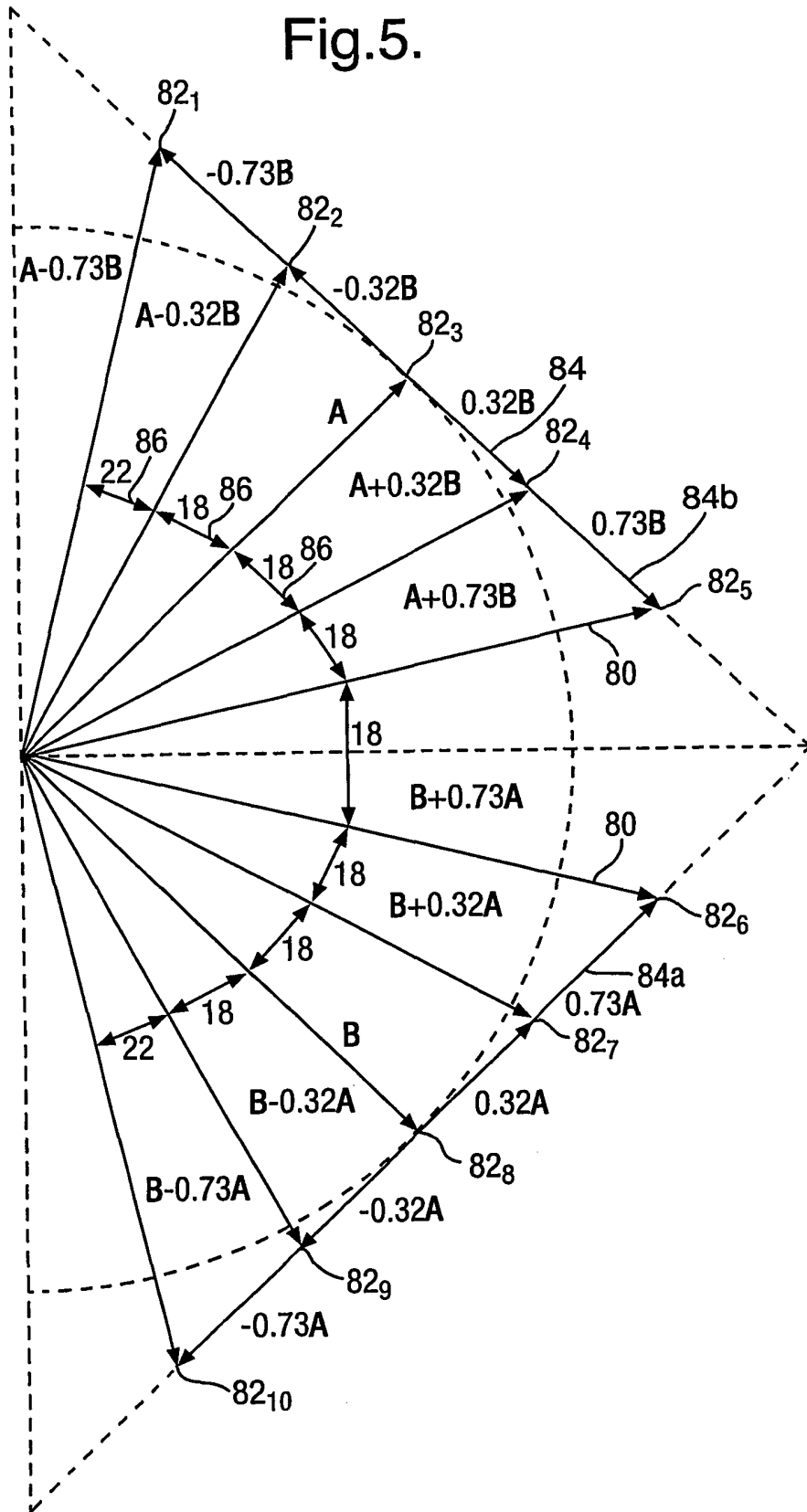


Fig.6.

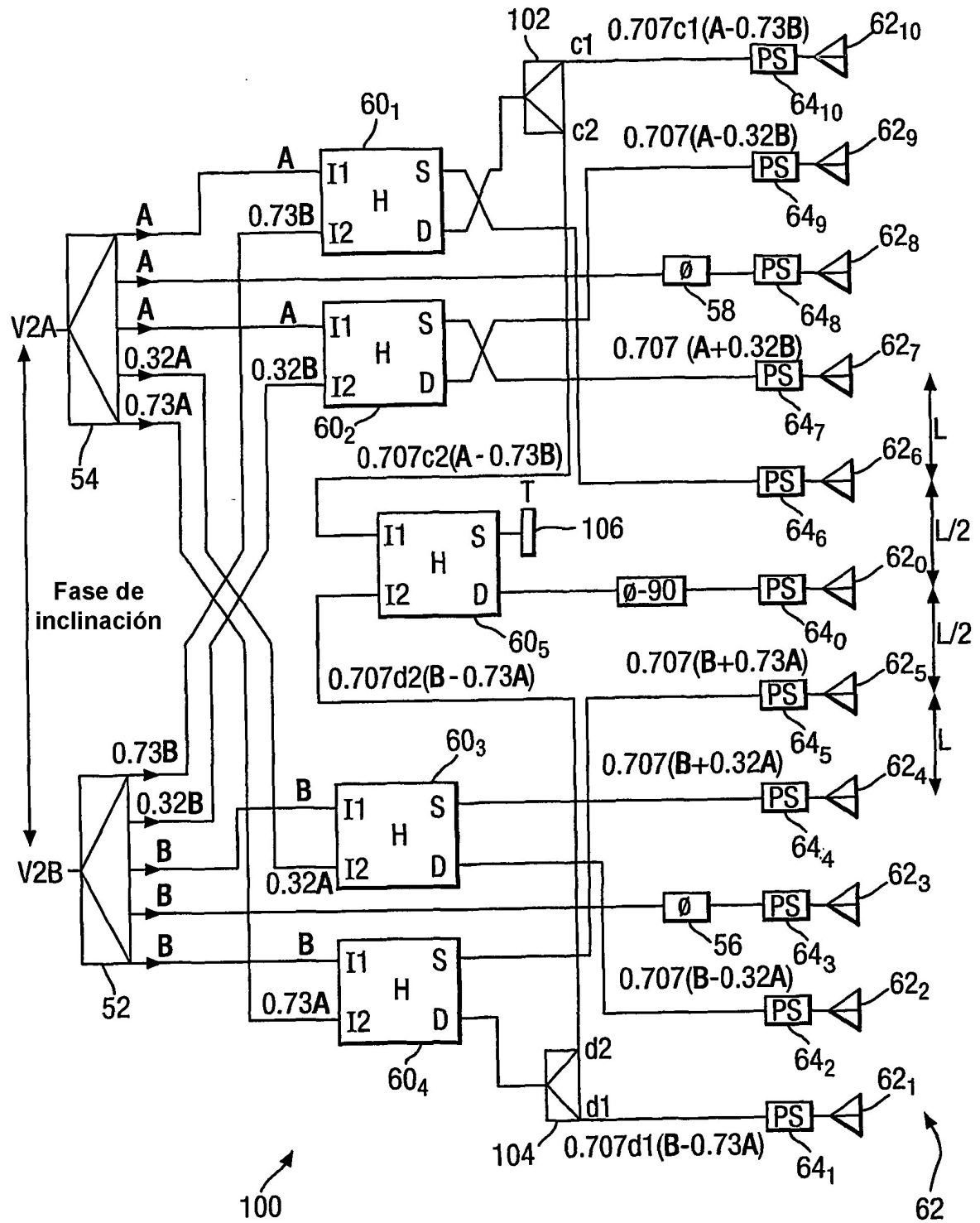


Fig.7.

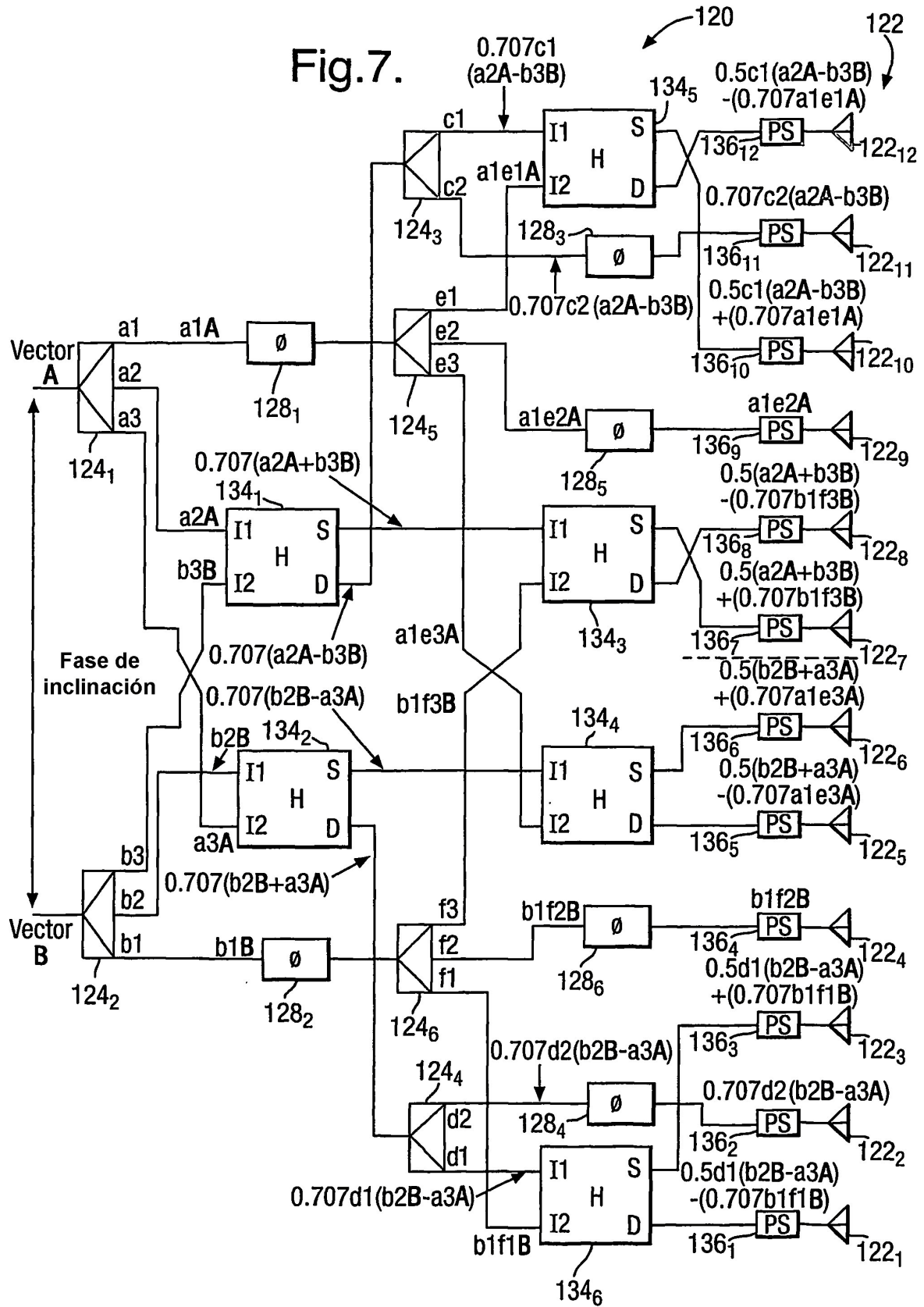


Fig.8.

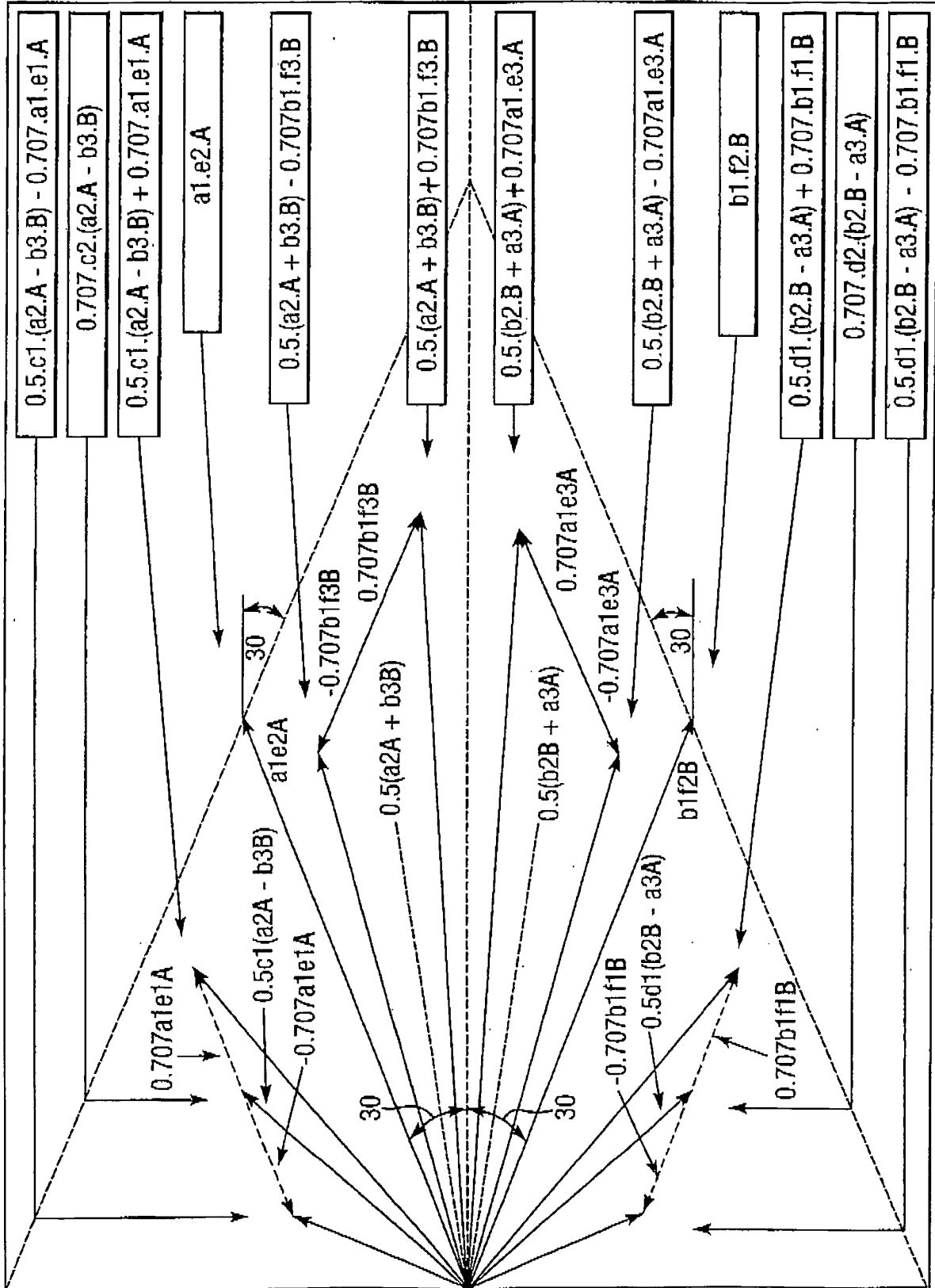


Fig.9.

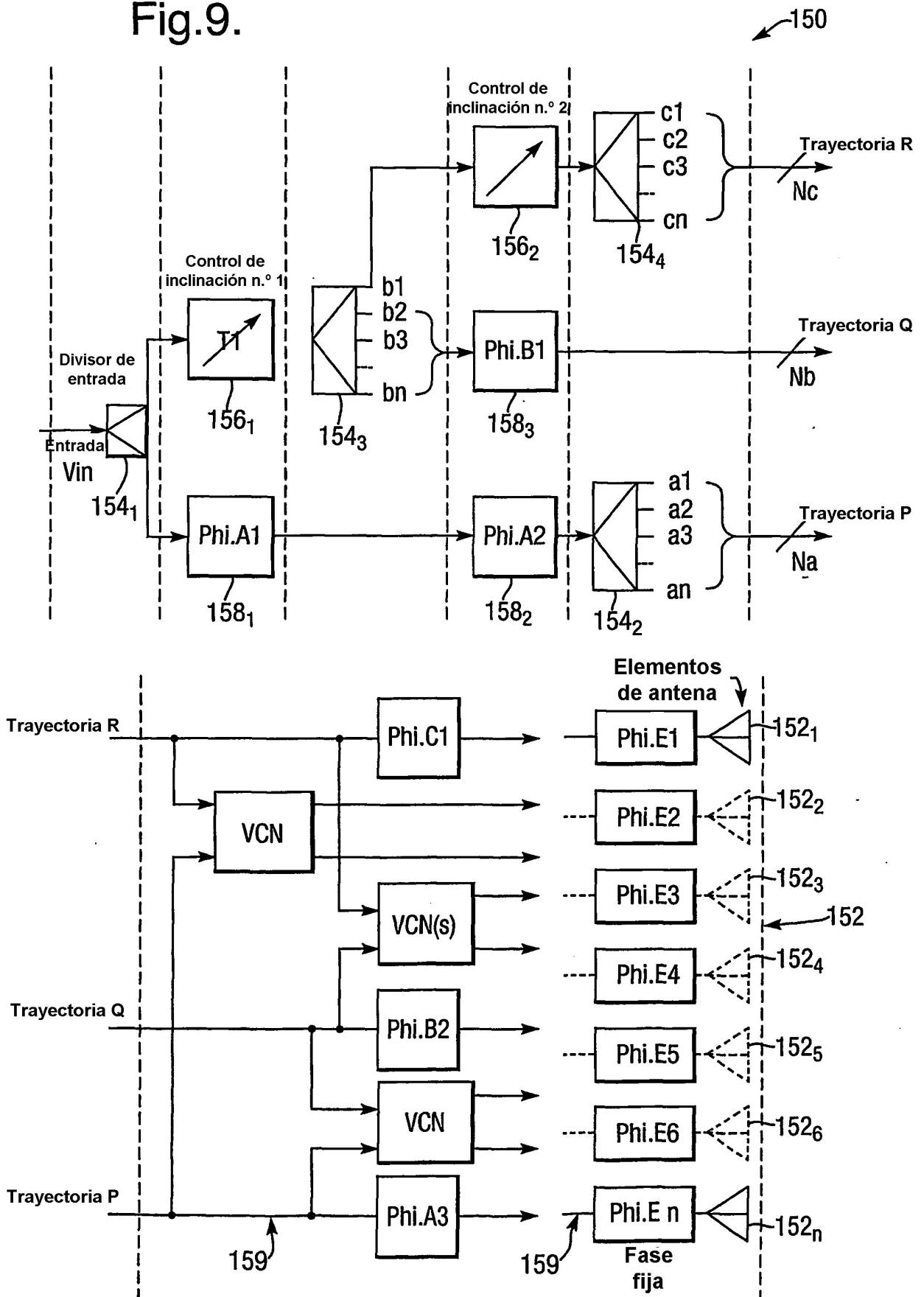
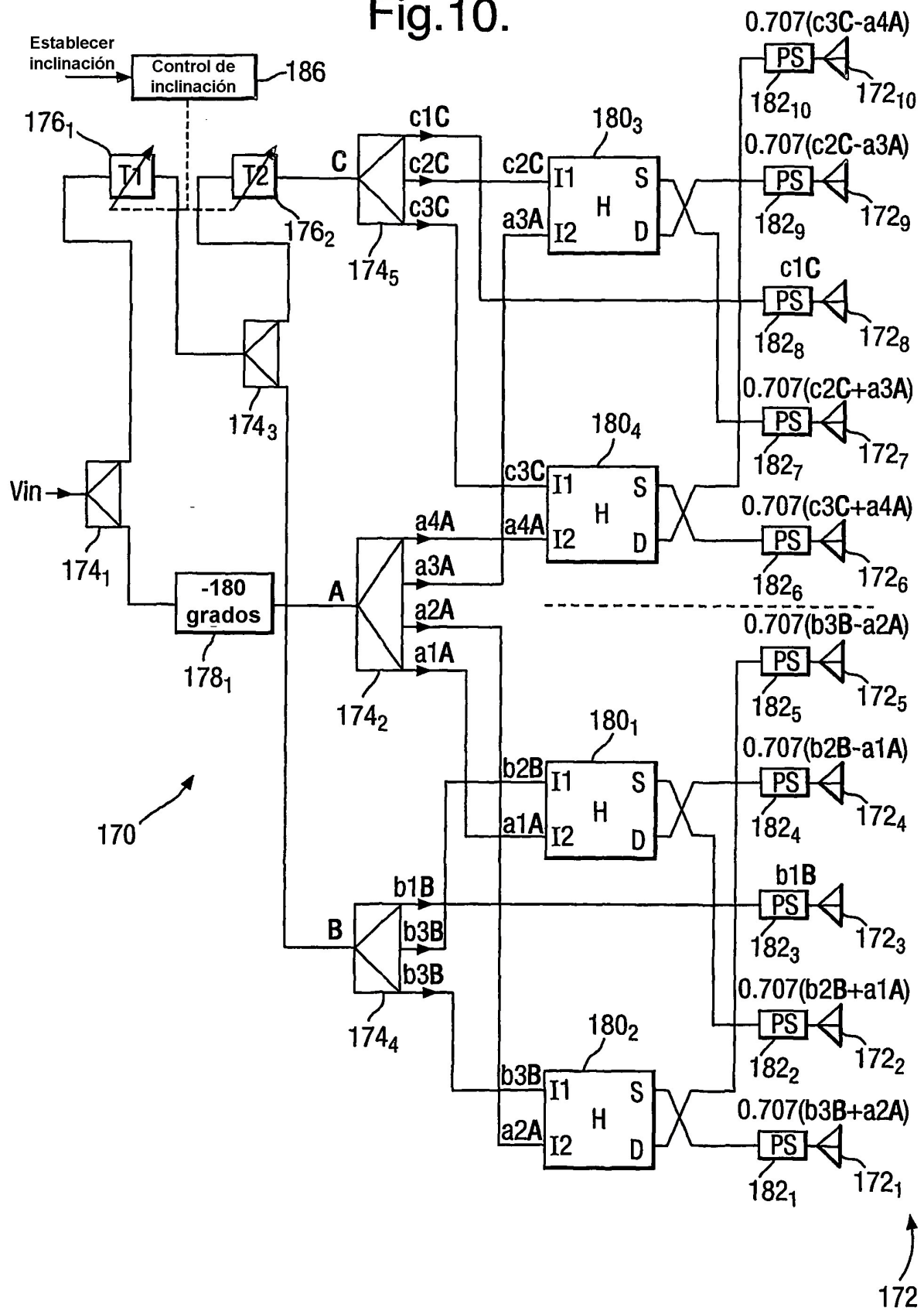


Fig.10.



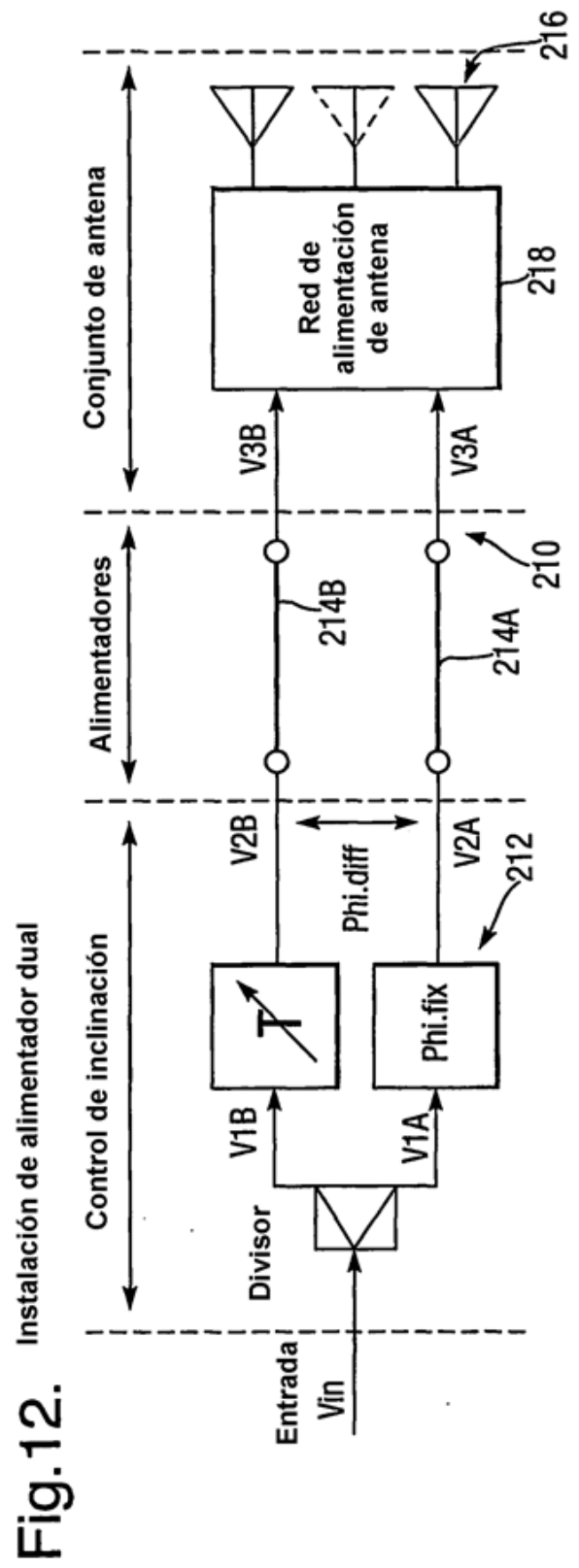
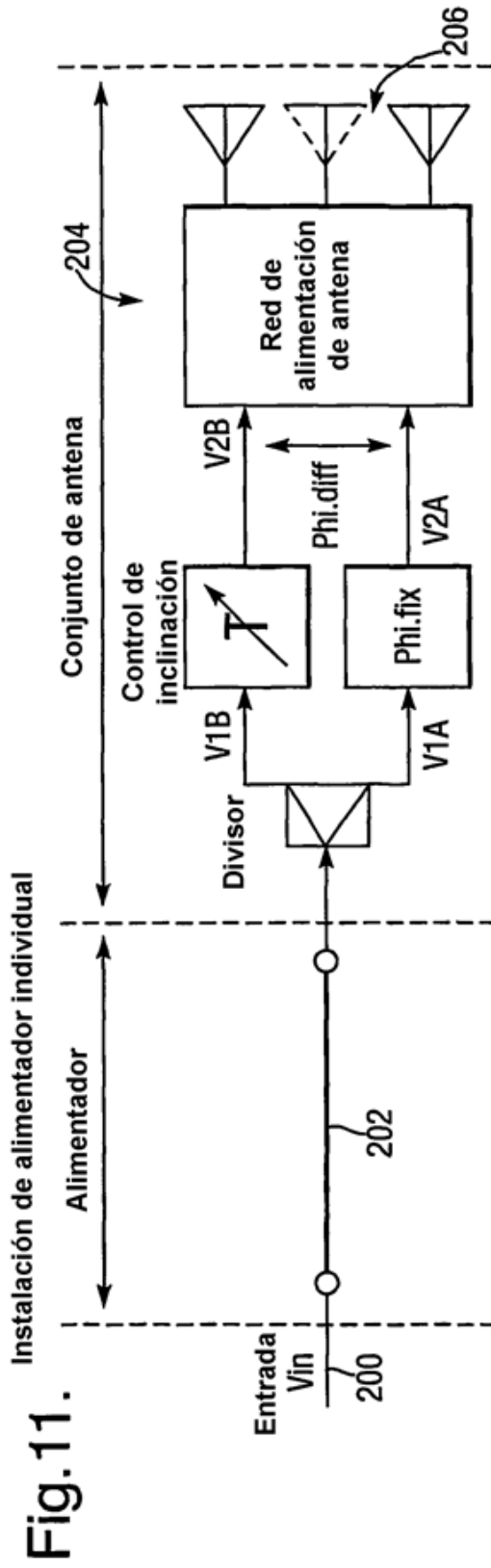


Fig.13.

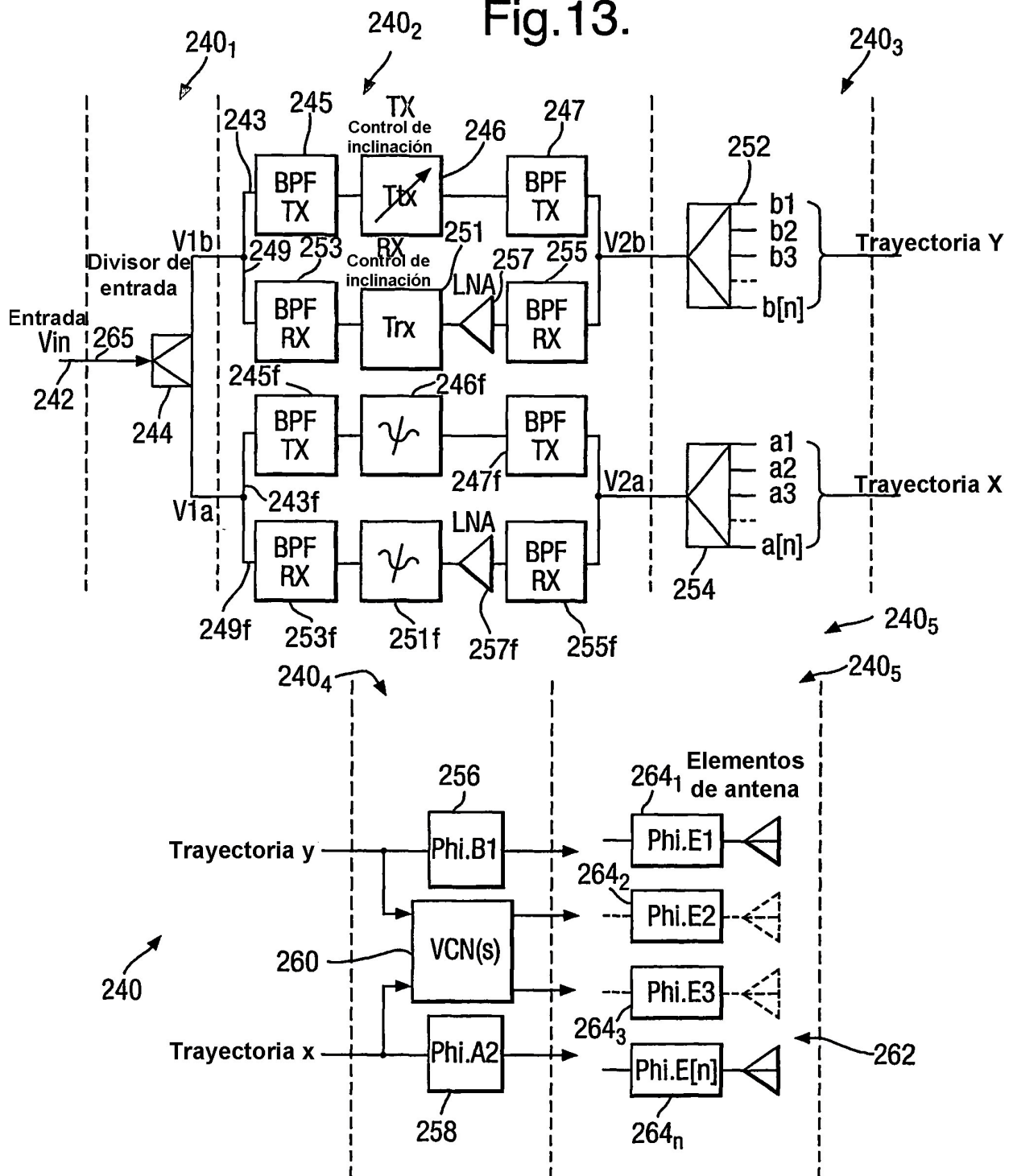


Fig.14.

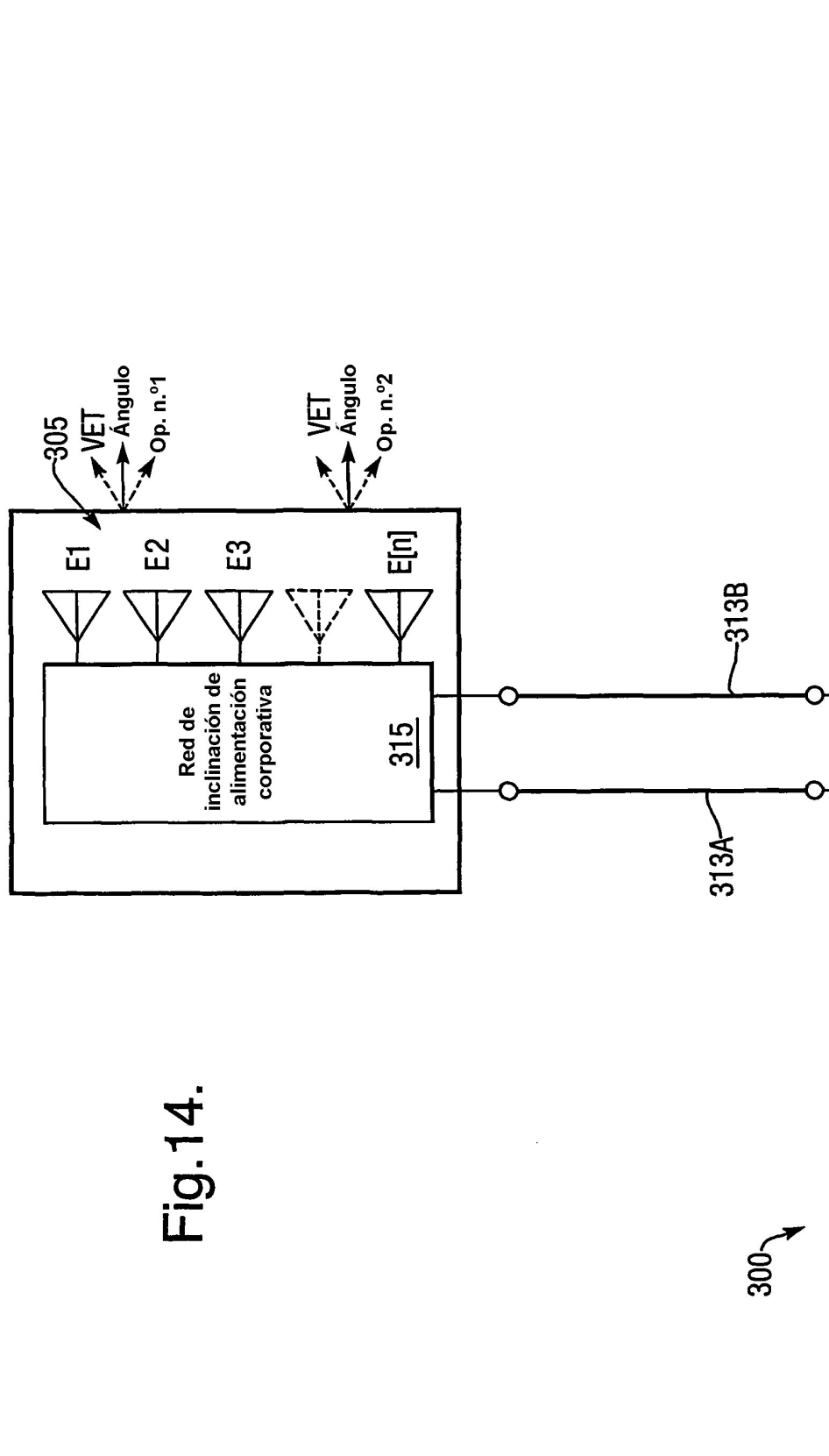


Fig. 14(cont).

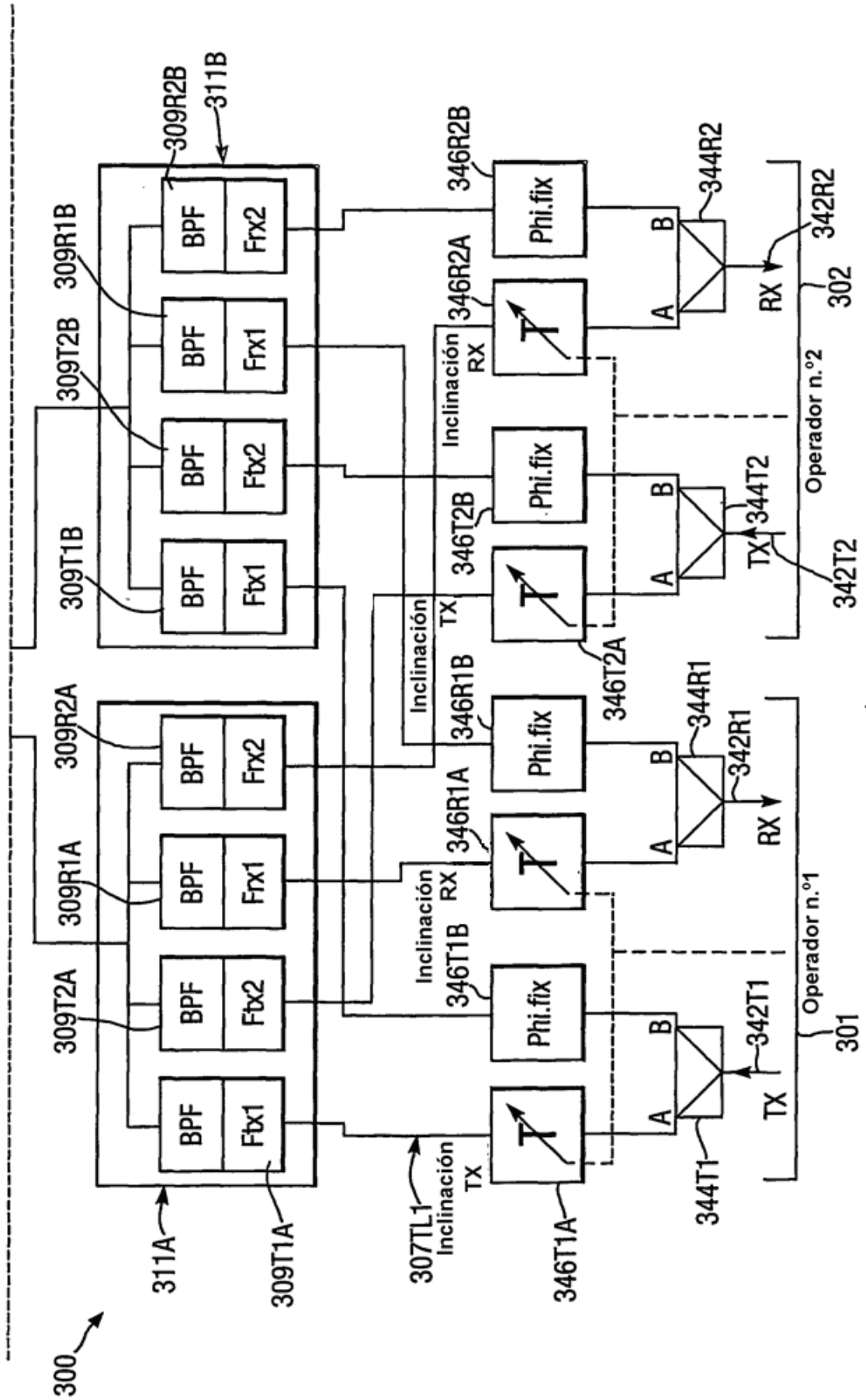


Fig.15.

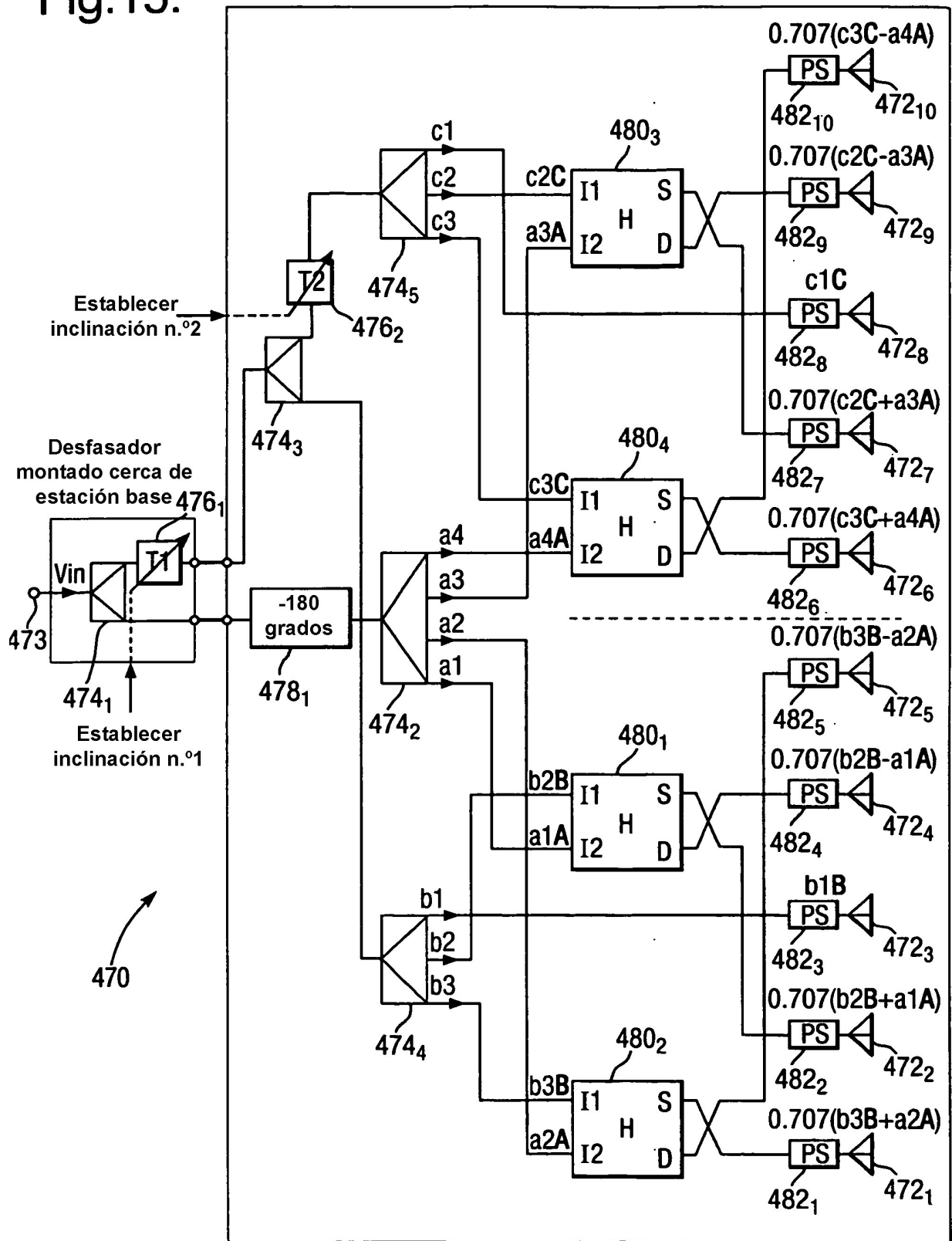


Fig.16.

