

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 524 547**

51 Int. Cl.:

H01P 5/22 (2006.01)

H01P 5/18 (2006.01)

H01Q 21/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.04.2013 E 13163734 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.09.2014 EP 2654121**

54 Título: **Red de formación de un haz de antena de volumen reducido para una matriz de antenas circular o troncocónica**

30 Prioridad:

20.04.2012 FR 1201167

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

10.12.2014

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)
45, rue de Villiers
92200 Neuilly Sur Seine, FR**

72 Inventor/es:

**KHUREIM-CASTIGLIONI, SHADI y
MONTEILLET, BENJAMIN**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 524 547 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Red de formación de un haz de antena de volumen reducido para una matriz de antenas circular o troncocónica

La presente invención tiene por objeto una red de formación de un haz de antena de reducido volumen para una matriz de antenas circular o troncocónica así como un dispositivo de antena que comprenda una red de ese tipo.

5 El campo de la invención es el de las matrices de antenas, particularmente para antenas de satélites en la banda Ka, pero igualmente el de los dispositivos que permitan la formación de un haz de antena mediante el envío de la señal apropiada hacia los diferentes elementos de la antena de una matriz con el fin de configurar el diagrama de la antena formado por el conjunto de dichos elementos.

10 Más concretamente, la invención se refiere al campo de los dispositivos de formación un haz en base a redes de acopladores así como a los campos asociados a la tecnología de guías de onda.

La invención es aplicable ventajosamente para la formación un haz de antena troncocónica del tipo descrito en la solicitud de patente europea del solicitante publicada bajo el número EP0512487 y que se dirige a una antena de lóbulo desarrollado y de gran ganancia. El contenido de esta solicitud anterior se incorpora por referencia en la presente solicitud.

15 La invención sin embargo no está limitada a una utilización para unas antenas troncocónicas, puede aplicarse igualmente para cualquier matriz de antenas cuyos puntos de acceso a las alimentaciones de los elementos de la antena estén dispuestos sobre la circunferencia de un círculo.

20 La solicitud de patente europea EP0512487 describe una antena troncocónica, utilizable para la transmisión de datos entre un satélite y una estación de tierra, cuyas características principales se representan en la figura 1. Una antena de ese tipo comprende una matriz conformada 10 dispuesta sobre una superficie conformada 11 que tiene un eje de revolución y un perfil troncocónico. La matriz 10 consiste en fuentes o elementos radiantes 13 dispuestos a lo largo de generatrices 12 de la superficie conformada 11 troncocónica. El conjunto de las fuentes radiantes 13 de una misma generatriz constituye una submatriz. La red comprende además, para cada generatriz, un desfaseador 14 y un repartidor pasivo 15 que dividen la señal en amplitud y en fase entre cada una de las fuentes 13.

25 La figura 2 esquematiza un ejemplo de realización de la antena descrita en la solicitud de patente antes citada que comprende veinticuatro submatrices 21 constituidas cada una por un intervalo de elementos radiantes (no representados). Para alimentar cada una de las submatrices, se utilizan varias matrices de Butler 22 de cuatro entradas y cuatro salidas comúnmente denominadas matrices de Butler 4x4. Una matriz de Butler es un dispositivo pasivo, compuesto por acopladores y desfaseadores, normalmente utilizado para la formación de haces de antenas.
30 La matriz de Butler 22 se utiliza para alimentar cuatro submatrices de antenas dispuestas a una distancia angular de 90° entre sí como se ilustra en la figura 2. De ese modo, son necesarias seis matrices de Butler para dirigir el conjunto de las veinticuatro submatrices 21.

35 Las conexiones 23, 24, 25, 26 están realizadas con unos cables coaxiales que permiten respetar varias restricciones técnicas. De entrada, debe respetarse la igual longitud entre el acceso principal de la señal y cada submatriz de antenas. Este punto es importante para evitar la introducción de desfases no controlados y dispersión de fase en las señales enrutadas hasta las submatrices de antenas. Además la longitud de los cables debe minimizarse de manera que se limite el volumen global de la antena así como las pérdidas.

40 La utilización de cables coaxiales asociados a unas matrices de Butler lineales satisface las restricciones técnicas antes citadas en el caso de aplicación a antenas que funcionen en unas bandas de frecuencias inferiores a la decena de gigahercios.

Sin embargo, cuando la aplicación deseada se refiere a una antena que funciona en unas bandas de frecuencia más elevadas, por ejemplo la banda Ka o la banda X o para cualquier frecuencia superior a 15 GHz, los cables coaxiales tradicionales sufren pérdidas en altas frecuencias demasiado grande para constituir una solución técnica aceptable, es decir que la señal sufre una atenuación demasiado grande.

45 Con el fin de limitar las pérdidas a altas frecuencias en los cables que unen las salidas de las matrices de Butler a las entradas de las submatrices de antenas, es necesario utilizar, en lugar de cables coaxiales tradicionales, una tecnología de guías de onda.

50 Sin embargo, esta tecnología presenta unos inconvenientes con relación a los cables coaxiales, desde el punto de vista de la flexibilidad de las conexiones realizadas. En efecto, al ser rígido el material utilizado (por ejemplo un metal tal como el aluminio), la gestión de la igual longitud y del volumen global de la antena es más compleja.

Una ilustración de este problema se muestra la figura 3 que representa la misma realización que la figura 2 sustituyendo los cables coaxiales flexibles 23, 24, 25, 26 por unas conexiones rígidas en guías de onda 33, 34, 35, 36. Se representa en la parte alta de la figura 3 una matriz de Butler 31 lineal. Comprende cuatro entradas y cuatro salidas dispuestas linealmente, es decir que todas las salidas están dispuestas del mismo lado de la matriz y todas

las entradas están dispuestas del lado opuesto a las salidas.

5 Se observa que la igual longitud no puede respetarse entre las cuatro conexiones resultantes de una matriz de Butler 31 lineal, sin realizar una solución voluminosa y compleja, debido al hecho de que cada conexión debe dirigirse a una de las submatrices de antenas dispuestas alrededor de la sección del cono 32 y que la distancia entre una salida de la matriz de Butler 31 y el acceso a una de las submatrices indicadas varía para cada una de las salidas. Además, la utilización de la tecnología de guías de onda para realizar las conexiones entre las matrices de Butler y los elementos de antena, engendra igualmente unas dificultades para la gestión del volumen global de la antena.

10 La invención viene a resolver los problemas de gestión de la igual longitud y del volumen antes citados proponiendo una red de formación de un haz de antena dispuesta para respetar estas restricciones. Una red ese tipo está particularmente adaptada a una antena troncocónica para comunicaciones entre un satélite y una estación de tierra tal como se describe en la solicitud europea EP0512487.

El documento US 7 508 343 divulga un aparato como se define en el preámbulo de la reivindicación 1.

15 La invención tiene de ese modo por objeto una red de formación de un haz para una matriz de antenas que comprende una pluralidad de elementos superpuestos que comprende cada uno una red de acopladores en cruz que comprende dos grupos opuestos de un número K de entradas emparejadas y dos grupos opuestos de un número K de salidas emparejadas, un número, igual al número de entradas, de guías de onda de entrada, rígidas, de longitudes iguales entre ellas, unidas en un extremo a dichas entradas de la red de acopladores y destinadas a recibir, en sus extremos opuestos libres, una señal de alimentación y un número, igual al número de salidas, de guías de onda de salida, rígidas, de longitudes iguales entre ellas, unidas en un extremo a dichas salidas de la red de acopladores y destinadas a estar unidas, en sus extremos opuestos libres, a los elementos radiantes de dicha matriz de antenas para alimentarlas, estando configuradas las longitudes de dichas guías de onda de cada elemento de manera que el camino eléctrico recorrido por una onda entre un extremo libre de una guía de onda de entrada unida a una entrada (E1, E2, E3, E4) dada y un extremo libre de una guía de onda de salida unido a una salida (S1, S2, S3, S4) dada es constante para todos los elementos, estando girada cada red de acopladores de un elemento en un ángulo predeterminado con relación a la red de acopladores del elemento inmediatamente inferior.

Según un aspecto particular de la invención, una red de acopladores en cruz está formada por una pluralidad de acopladores de K entradas y K salidas dispuestos para formar una cruz.

30 Según otro aspecto particular de la invención, el valor del ángulo predeterminado es sustancialmente igual a un múltiplo de 360° dividido por el número N de elementos de antena a alimentar.

Según otro aspecto particular de la invención, dichos extremos libres de las guías de onda de entrada están dispuestos en un primer plano sustancialmente paralelo al plano de la red en cruz y dichos extremos libres de las guías de onda de salida están dispuestos en un segundo plano sustancialmente paralelo al plano de la red en cruz y dispuesto en el lado opuesto al primer plano.

35 Según otro aspecto particular de la invención, los extremos libres de las guías de onda de salida están dispuestos sobre la circunferencia en un círculo de forma equidistantemente distribuida.

Según otro aspecto particular de la invención, las guías de onda de salida unidas a un par de salidas emparejadas están orientadas, en su conexión con dichas salidas, de manera que formen entre ellas un ángulo sustancialmente igual a $180/K$ grados.

40 Según otro aspecto particular de la invención, el número total $2K$ de entradas y el número total $2K$ de salidas de la matriz es igual a cuatro.

45 Según otro aspecto particular de la invención, cada guía de onda de salida comprende el menos una primera rama, unida a una primera salida de una red de acopladores en cruz, que se extiende en una dirección que forma un ángulo de 45° con el eje que pasa por dos salidas opuestas de dicha red de acopladores, una segunda rama unida en un extremo a la primera rama y que se extiende en el otro extremo hasta un punto del eje de simetría de dicho círculo que pasa por el extremo libre de la guía de onda y una tercera rama unida a la segunda rama y que se extiende hasta el extremo libre.

Según otro aspecto particular de la invención, dichas guías de onda están formadas en aluminio.

50 La invención tiene igualmente por objeto una matriz de antenas **caracterizada por que** comprende una pluralidad de elementos radiantes dispuestos en submatrices de antenas, estando dispuestas las entradas de alimentación de dichas submatrices de antenas de manera equidistantemente distribuida sobre la circunferencia de un círculo, un repartidor para dividir la potencia de una señal de alimentación entre la pluralidad de elementos radiantes y una red de formación de un haz según la invención dispuesta de manera que los extremos libres de las guías de onda de entrada estén conectados a las salidas de dicho repartidor y los extremos libres de las guías de onda de salida estén conectados a las entradas de alimentación de las submatrices de antenas.

55

Según un aspecto particular de la invención, cada elemento de dicha red de formación de un haz se conecta a un número igual a $2K$ submatrices de antenas cuyas entradas de alimentación están equidistantemente distribuidas sobre dicho círculo.

5 Según un aspecto particular de la invención, cada submatriz de antenas consiste en una pluralidad de elementos radiantes dispuestos linealmente sobre la superficie conformada de un cono.

En una variante de realización de la invención, la matriz de antenas según la invención comprende además, sobre cada guía de onda de entrada, un desfasador adecuado para aplicar un desfase a la señal de alimentación.

En una variante de realización de la invención, la matriz de antenas según la invención se utiliza en la banda de frecuencias Ka.

10 Surgirán mejor otras características y ventajas de la presente invención con la lectura de la descripción que sigue en relación con los dibujos adjuntos que representan:

- La figura 1, una antena troncocónica de formación de un haz según la técnica anterior,
- La figura 2, un esquema particular de alimentación de los elementos de antena de la antena de la figura 1 que utiliza un conjunto de matrices de Butler lineales,
- 15 - La figura 3, una ilustración de las limitaciones del esquema de la figura 2 para unas aplicaciones en unas bandas de frecuencia superiores a la decena de gigahercios, particularmente en la banda Ka,
- Las figuras 4a, 4b y 4c tres esquemas de redes de acopladores en cruz,
- La figura 5 un esquema de un apilado de matrices de Butler 4×4 en cruz situadas en una disposición particular según la invención,
- 20 - La figura 6, un esquema de un ejemplo de realización de una red de formación de un haz según la invención,
- La figura 7, un esquema simplificado que ilustra la disposición de la red de formación de un haz según la invención en un dispositivo de antena compacto,
- La figura 8a, un esquema de un dispositivo de antena que comprende una red de formación de un haz según la invención,
- 25 - La figura 8b, un esquema de un dispositivo de antena que comprende una red de formación de un haz según la invención,
- La figura 9, una vista parcial de ciertos elementos que constituyen la red de formación de un haz según la invención,
- La figura 10, una vista superior esquemática de la disposición de las guías de onda de salida de una matriz de Butler,
- 30 - La figura 11, una vista desde abajo de los elementos descritos en la figura 9.

Para resolver los problemas de volumen existentes cuando se utilizan unas matrices de Butler lineales, la invención consiste en utilizar una red de acopladores en cruz tal como se representa en las figuras 4a y 4c.

35 En lo que sigue, se describe un ejemplo particular de realización de la invención a partir de una red de acopladores matriciales denominada 4×4 , es decir que comprende cuatro entradas y cuatro salidas. El principio en la base de la invención puede ser ampliado a cualquier red de acopladores que comprenda un número par de entradas y de salidas. El término matriz de Butler se reserva en la literatura a una red de acopladores que tenga una función de transferencia particular. La invención no se limita a este caso preciso sino que por el contrario se extiende a cualquier red de acopladores, tal como se describe a continuación con el apoyo de las figuras 4a a 4c, y de función de transferencia cualquiera.

40 La red 40 de acopladores en cruz esquematizada en la figura 4a comprende dos entradas E1, E2 emparejadas dispuestas en el extremo de una primera rama 41 de la cruz y dos entradas E3, E4 emparejadas dispuestas en el extremo de una segunda rama 42 de la cruz opuesta a la primera rama 41. De manera similar, están dispuestas dos salidas S1, S2 emparejadas en el extremo de una tercera rama 43 y están dispuestas otras dos salidas S3, S4 emparejadas en el extremo de una cuarta rama emparejada 44 opuesta a la tercera rama 43. De manera más general, una red 40 de acopladores en cruz se caracteriza por el posicionamiento opuesto de dos pares de salidas (S1, S2), (S3, S4) emparejadas así como dos pares de entradas (E1, E2), (E3, E4) emparejadas.

45 La utilización de una red 40 de acopladores en cruz es más ventajosa que una red de acopladores lineal, tal como la matriz de Butler 31 representada en la figura 3, para alimentar cuatro submatrices de antenas dispuestas alrededor de un círculo y separadas en una distancia angular de 90° como se ilustra en la figura 2, tal como se describirá más en detalle a continuación. En esta situación, se puede remarcar ya que la orientación opuesta de los dos pares de salidas (S1, S2) y (S3, S4) de la red 40 permite dirigir más fácilmente unas matrices de antenas dispuestas en oposición sobre un círculo, dicho de otra manera situadas a una distancia angular de 180° entre sí.

50 La figura 4b representa un ejemplo de acoplador 401 utilizado para realizar una red de acopladores en cruz 4×4 . El acoplador 401 es de dos entradas I_1, I_2 y dos salidas O_1, O_2 . Comprende dos líneas de transmisión paralelas físicamente conectadas juntas por tres ramas.

El acoplador 401 ilustrado en la figura 4b es dado a título de ejemplo y puede ser sustituido por cualquier otro

dispositivo de acoplamiento de dos entradas y dos salidas que permita repartir la potencia de la señal de entrada en las dos salidas con un desfase eventual de una salida con relación a la otra de un múltiplo de 90° .

5 La figura 4c representa una red de acopladores en cruz 40 formada por cuatro acopladores 401, 402, 403, 404 dispuestos para formar cuatro ramas de una cruz. Una primera salida O_1 el acoplador 401 se conecta formando un codo a $+90^\circ$ a una primera entrada de un segundo acoplador 402. Una segunda salida O_2 del primer acoplador 401 se conecta con un codo a -90° a una primera entrada de un tercer acoplador 403.

De manera similar, las dos salidas de un cuarto acoplador 404 se conectan respectivamente a la segunda entrada del segundo acoplador 402 con un codo a -90° y a la segunda entrada del tercer acoplador 403 con un codo a $+90^\circ$.

10 De esta manera, la disposición de los cuatro acopladores forma la cruz. En función de una ley de fase predeterminada de las señales sobre las cuatro entradas E1, E2, E3, E4 de la red de acopladores 40, la potencia de la señal se encamina hacia las cuatro salidas S1, S2, S3, S4 de manera que se obtenga una ley de amplitud y de fase dada.

15 La figura 5 esquematiza un apilado 50 de seis redes de acopladores en cruz dispuestos para dirigir veinticuatro submatrices de antenas como en el ejemplo de la figura 2. Cada red de acopladores 51 se apila sobre la precedente 52 imprimiendo una rotación de un ángulo igual a $360/N$ grados, en la que N es igual al número de submatrices de antenas a alimentar, alrededor de un eje z de rotación común a todas las redes. Este ángulo es también igual a la separación angular entre cada submatriz de la matriz de antenas. El eje z es también un eje de simetría de cada red de acopladores así como del conjunto constituido por el apilado de las seis redes de acopladores tal como se representa en la figura 5. En el ejemplo de la figura 5, cada red de acopladores 51 sufre una rotación de un ángulo de 15° alrededor del eje z con relación a la red 52 situada justo por debajo de ella.

20 De esta manera, cada red de acopladores se dispone de manera que sus salidas se orienten hacia la submatriz de antenas apropiada.

25 De manera más general, en una variante de realización de la invención, el ángulo de rotación imprimido entre dos redes de acopladores superpuestas puede ser un múltiplo cualquiera de $360/N$ grados que no es forzosamente creciente linealmente con el orden de apilado de la redes. En particular, los ángulos de rotación entre dos redes de acopladores superpuestas de un mismo conjunto pueden igualmente no ser constantes.

30 La disposición 50 del conjunto de las redes de acopladores se dispone ventajosamente entre un repartidor de potencia uno hacia N situado por debajo del apilado y el cono 53 formado por el conjunto de las submatrices de antenas en el caso preferido de utilización conjunta con una antena troncocónica o más generalmente el plano de las entradas de las submatrices de antenas.

35 La figura 6 representa un ejemplo de red 600 de formación de un haz según la invención que comprende cuatro elementos 631, 632, 633, 634 apilados. Cada elemento está constituido por una red de acopladores en cruz 601, 602, 603, 604 tal como se describe en las figuras 4a y 4b y de una pluralidad de guías de onda para encaminar la señal de alimentación desde un repartidor hasta una matriz de antenas. Se conectan cuatro guías de onda 611, 612, 613, 614 a las cuatro salidas de cada red de acopladores 601. Se les califica en lo que sigue de guías de onda de salida. Otras cuatro guías de onda 621, 622, 623, 624 se conectan a cuatro entradas de cada red de acopladores 601. Se les califica en lo que sigue de guías de onda de entrada.

40 Las guías de onda de entrada están dispuestas de manera que puedan conectar las entradas de una red de acopladores a las salidas correspondientes de un repartidor de potencia (no representado en la figura 6) dispuestas en un plano paralelo al plano de la red, es decir al plano definido por las dos ramas de la cruz. Las guías de onda de salida están dispuestas de manera que puedan conectar las salidas de una red de acopladores a las entradas de alimentación correspondientes de una matriz de antenas (no representada en la figura 6) dispuestas en otro plano paralelo al plano de los acopladores. La red de formación de un haz según la invención se destina a estar situada entre un repartidor de una matriz de antenas. La invención no está limitada a un apilado de una pluralidad de redes de acopladores como se indica en la figura 6 sino que puede consistir igualmente en una única red de acopladores que permita alimentar cuatro submatrices de antenas si el dispositivo de antena no comprende más de cuatro submatrices de antenas. El número de elementos del apilado se define directamente por el número de submatrices de antenas a alimentar.

50 La figura 7 representa esquemáticamente la disposición de la red de formación de un haz según la invención cuando se integra en un dispositivo de antena global.

Las guías de onda de entrada de las redes de acopladores en cruz 71, 72, 73, 74, 75, 76 se unen a un repartidor dispuesto en un primer plano 701 sustancialmente paralelo al plano 70 definido por las ramas de la cruz. Este plano es el definido por los ejes z e y en la figura 5 o cualquier otro plano paralelo a éste.

55 El repartidor tiene como función dividir la señal de alimentación en amplitud en tantas señales como sea necesario para las submatrices de antenas a alimentar.

Las guías de onda de salida de los acopladores se unen a las entradas de alimentación de las submatrices de antenas. Estas entradas se dispone sobre la circunferencia en un círculo situada en un segundo plano 702 igualmente sustancialmente paralelo al plano 700 de cada acoplador y dispuesto del lado de los acopladores opuesto al del primer plano 701.

- 5 Para respetar la igual longitud entre cada salida del repartidor y cada entrada de una submatriz de antenas, una restricción a respetar es que, para cada red de acopladores, la suma de la longitud A1 de una guía de onda de salida y de la longitud B1 de una guía de onda de entrada debe ser constante. Dicho de otra manera, en el ejemplo de la figura 7 que representa seis redes de acopladores apilados, se debe respetar la relación siguiente:

$$A1 + B1 = A2 + B2 = A3 + B3 = A4 + B4 = A5 + B5 = A6 + B6 \quad (1)$$

- 10 Más concretamente, la longitud A_i , para i variando de 1 a 6 corresponde al camino recorrido por la guía de onda entre la salida de la red de acopladores y la entrada de la submatriz de antenas. La longitud B_i corresponde al camino recorrido por la guía de onda entre la salida del repartidor y la entrada de la red de acopladores. Dicho de otra manera, las longitudes de dichas guías de onda de cada elemento se configuran de manera que el camino eléctrico recorrido por una onda entre un extremo libre de una guía de onda de entrada y el extremo libre de una
- 15 guía de onda de salida sea constante para todos los elementos. Dicho de otra manera, el camino eléctrico recorrido por una onda entre un extremo libre de una guía de onda de entrada y un extremo libre de una guía de onda de salida para un elemento 631 es igual al camino eléctrico recorrido por una onda entre un extremo libre de una guía de onda de entrada y un extremo libre de una guía de onda de salida para los otros elementos 632, 633, 634 considerando una guía de onda de entrada y una guía de onda de salida asociadas a los mismos números de
- 20 entrada o de salida de las redes de acopladores 601, 602, 603, 604. Por ejemplo, el camino recorrido por una onda entre un extremo libre de la guía de onda de entrada unido a la entrada E1 de una red de acopladores y un extremo libre de la guía de onda de salida unido a la entrada S1 de la misma red de acopladores es constante para todos los elementos.

- 25 La figura 8a describe un dispositivo de antena del tipo del divulgado en la solicitud anterior EP0512487. Este dispositivo comprende el menos una matriz 801 de antenas que comprende una pluralidad de elementos radiantes dispuestos sobre las generatrices de la superficie de un cono, una red 802 de formación de un haz según la invención, un repartidor 803 de potencia y una pluralidad de desfases 804.

- 30 El dispositivo de antena descrito en la figura 8 comprende 24 ordenaciones de elementos radiantes que constituyen unas submatrices 811 de antena. Cada submatriz de antenas está alimentada a través de un punto de entrada (no representado). Los 24 puntos de entrada de alimentación están dispuestos en un mismo plano y sobre la circunferencia en un círculo que corresponde, por ejemplo, a la base de la superficie troncocónica.

- 35 Cada entrada de alimentación está alimentada por la red 802 de formación de un haz según la invención por la desviación de una guía de onda de salida 821 que permite unir esta entrada a una red de acopladores 822. Una misma red 822 está unida en la salida a cuatro entradas de alimentación dispuestas en una distancia angular de 90° entre sí como ya se ha explicado.

- 40 Las entradas de la red 822 de acopladores se unen a un repartidor 803 pasivo mediante el desplazamiento de guías de onda de entrada 823. Se dispone además un desfase 804 en cada guía de onda 823 de entrada con el fin de permitir el control preciso en fase de cada submatriz de la matriz 801 de antenas e indirectamente el control en amplitud o más generalmente el parametrizado de la función de transferencia de las redes de acopladores. El repartidor 803 pasivo está encargado de repartir la potencia de la señal entre las 24 guías de onda de entrada.

- La red 802 de formación de un haz de antena según la invención permite respetar la igual longitud entre las entradas de alimentación de la matriz 801 de antenas y el repartidor 803 pasivo. Se puede utilizar de manera similar para alimentar cualquier matriz de antenas de formación de un haz cuyas entradas de alimentación se dispongan en la circunferencia de un círculo.

- 45 La figura 8b representa otra vista del dispositivo de antenas de la figura 8 sobre el que se distingue el repartidor 803 pasivo que realiza un reparto de la potencia de la señal generada hacia las 24 guías de onda de entrada de la red 802 de formación de un haz según la invención.

- 50 Las guías de onda de entrada deben disponerse de manera que permitan una conexión compacta con las salidas correspondientes del repartidor 803 pasivo que en sí mismo comprende una pluralidad de salidas dirigidas hacia el exterior de manera que se puedan conectar con las diferentes guías de onda de entrada. En el ejemplo de la figura 8b, el repartidor 803 comprende 12 salidas orientadas en un sentido y 12 salidas orientadas en el sentido opuesto. El repartidor pasivo no modifica la fase de las diferentes señales, siendo idéntico el camino eléctrico de cada vía y también se respeta la igualdad de fase entre las diferentes señales en la entrada de los desfases 804. En una variante de realización del dispositivo de antena según la invención, el repartidor 803 pasivo se puede sustituir por
- 55 24 amplificadores unitarios o cualquier otro dispositivo equivalente adaptado para encaminar la potencia de la señal hacia las 24 guías de onda.

La figura 9 esquematiza una vista parcial del dispositivo de antena de la figura 8 para el que sólo se representan dos

redes de acopladores 910, 920 apilados. El eje de simetría de la primera red 910 en cruz está girado en un ángulo predeterminado con relación al eje de simetría de la segunda red 920 en cruz sobre el que la primera red 910 en cruz está superpuesta. En el ejemplo de aplicación de las figuras 8a y 8b, es decir para una matriz de antenas que comprenda 24 submatrices, el ángulo predeterminado es igual a $360/24 = 15^\circ$.

5 Esta separación angular se encuentra igualmente entre los ejes de orientación de una guía de onda de salida de la red 910 de acopladores y de la guía de onda de salida equivalente para la red 920 de acopladores. De ese modo, las guías de onda 921, 922, 923, 924 de salida de la segunda red 920 de acopladores están desviadas en un ángulo de 15° con relación a las guías de onda 911, 912, 913, 914 de salida de la primera red 910 de acopladores. Este principio de desviación angular se reitera para cada red superpuesta con relación a la red sobre la que está colocada.

De la misma manera, las guías de onda 925, 926, 927, 928 de entrada de la segunda red 920 de acopladores están desviadas igualmente en el mismo ángulo con relación a las guías de onda 915, 916, 917, 918 de entrada de la primera red 910 de acopladores.

15 La desviación angular de una red en cruz con relación a otra red en cruz sobre la que está superpuesta tiene como efecto permitir una orientación adaptada de las salidas de las redes en cruz hacia las submatrices de antenas que deben cada una alimentar. En efecto, cada red de acopladores alimenta cuatro submatrices de antenas separadas en una separación angular de 90° . La red de acopladores superpuesta a la precedente alimenta otras cuatro submatrices de antenas desviadas en un ángulo de 15° .

20 Las guías de onda de salida deben disponerse de manera que permitan la alimentación de las submatrices de antenas a las que están conectadas y de manera que minimice el volumen global del dispositivo.

25 La figura 10 representa esquemáticamente una vista superior de una red 910 de acopladores y de las cuatro guías de onda 911, 912, 913, 914 de salida conectadas a las cuatro salidas respectivas de la red 910. Cada una de las salidas debe estar unida a la entrada de alimentación 931, 932, 933, 934 de una submatriz de antenas. Las entradas a alimentar están dispuestas sobre la circunferencia de un círculo 930. Una red 910 en cruz está encargada de alimentar cuatro entradas 931, 932, 933, 934 dispuestas sobre este círculo 930 con una distancia angular de 90° entre sí como se esquematiza en la figura 10.

La figura 10 muestra que para obtener este resultado, las guías de onda 911, 912, 913, 914 de salida se pueden disponer según una configuración geométrica particular. Se describe ahora una configuración geométrica particular de las guías de onda de salida.

30 Una primera rama 91, de la guía de onda 911, se une a una primera salida S1 de la red 910 de acopladores y se extiende en una dirección que forma un ángulo de 45° con el eje que pasa por dos salidas opuestas S1, S4 de la red 910 de acopladores. De manera similar, la guía de onda 912, se une a una segunda salida S2 emparejada con la primera salida S1, es decir dispuesta sobre la misma rama de salida de la red 910 en cruz que la primera salida S1, comprende una primera rama 94 que se extiende en una dirección que forma igualmente un ángulo de 45° con el mismo eje A1 y que forma un ángulo de 90° con la primera rama 91 de la primera guía de onda 911.

De esta manera, las guías de onda 911, 912, unidas a dos salidas emparejadas S1, S2 se orientan para formar una separación angular de 90° igual a la distancia angular entre las dos submatrices 931, 932 de antena que deben alimentar.

40 La primera guía de onda 911 comprende igualmente una segunda rama 92, sustancialmente perpendicular a la primera rama 91, y que se extiende hasta el eje de simetría D1 del círculo 930 que pasa por la entrada 931 a alimentar. Finalmente, una tercera rama 93, unida a la segunda rama 92, se extiende a lo largo del eje de simetría D1 hasta la entrada 931.

45 La segunda guía de onda 912 comprende igualmente una segunda y una tercera ramas dispuestas de manera similar para alcanzar la segunda entrada 932 dispuesta sobre el círculo 930 a una distancia angular de 90° de la primera entrada 931.

La tercera y cuarta guías de onda 913, 914 de salida están dispuestas de manera idéntica para unir la tercera y cuarta salidas S3, S4 de la matriz 910 hacia la tercera y cuarta entradas 933, 934 de alimentación.

La figura 11 representa una vista desde abajo de la figura 9 que permite visualizar la disposición geométrica de las guías de onda de salida descrita esquemáticamente en la figura 10.

50 Las guías de onda de salida pueden componerse de un número de ramas superior a tres para adaptarse a las restricciones geométricas específicas del dispositivo de antena.

La disposición de las guías de onda de salida descrita con la ayuda de las figuras 10 y 11 tiene como efecto permitir una conexión compacta entre las salidas de la red 910 de acopladores en cruz y las submatrices 931, 932, 933, 934 de antenas a alimentar.

Cualquier disposición equivalente de las guías de onda de salida es compatible con la invención. En particular la segunda rama 92 de una guía de onda 911 no es forzosamente perpendicular a las otras dos ramas 91, 93 sino que debe permitir unir el eje D1 de simetría del círculo 930 que pasa por la entrada de alimentación 931 de la submatriz de antenas a alimentar.

5 En una variante de realización de la invención, la red de acopladores 4x4 puede sustituirse por un acoplador simple de dos entradas y dos salidas. En este caso, las submatrices de antenas alimentadas por las dos salidas de la red de acopladores ya no estarán separadas con una separación angular de 90° sino con una separación angular de 180° .

10 De manera más general, la red de acopladores en cruz 4x4 puede sustituirse por una red de acopladores en 2K entradas y 2K salidas, siendo K un número entero superior o igual a uno. Las guías de onda de salida estarán en este caso orientadas de manera que alimenten unas matrices de antenas separadas con una separación angular igual a $180/K$ grados.

15 La invención tiene como ventaja permitir la realización de un dispositivo de antenas de formación de un haz en unas bandas de frecuencia superiores a 20 GHz que sea compacta en masa y volumen mientras se respeta la restricción de igual longitud entre el repartidor pasivo y las submatrices de antenas a alimentar.

La exigencia de compacidad es tanto más importante cuanto más elevada sea la banda de frecuencia deseada, más reducidas deban ser las dimensiones de la antena y por lo tanto más controlado deba estar el volumen.

REIVINDICACIONES

1. Red (600, 802) de formación de un haz para una matriz de antenas que comprende una pluralidad de elementos (631, 632, 633, 634) superpuestos que comprende cada uno una red (601, 802, 71, 40) de acopladores en cruz que comprende dos grupos opuestos de un número K de entradas ((E1, E2), (E3, E4)) emparejadas y dos grupos opuestos de un número K de salidas ((S1, S2), (S3, S4)) emparejadas, un número, igual al número de entradas ((E1, E2), (E3, E4)), de guías de onda (621, 622, 623, 624) de entrada, de longitudes iguales entre ellas, unidas en un extremo a dichas entradas (E1, E2, E3, E4) de la red (601, 802, 71) de acopladores y destinadas a recibir, en sus extremos opuestos libres, una señal de alimentación y un número, igual al número de salidas ((S1, S2), (S3, S4)), de guías de onda (611, 612, 613, 614) de salida de longitudes iguales entre ellas, unidas en un extremo a dichas salidas (S1, S2, S3, S4) de la red (601, 802, 71) de acopladores y destinadas a estar unidas, en sus extremos opuestos libres, a los elementos radiantes de dicha matriz de antenas para alimentarlas, estando configuradas las longitudes (A1, B1) de dichas guías de onda de cada elemento (631, 632, 633, 634) de manera que el camino eléctrico recorrido por una onda entre un extremo libre de una guía de onda de entrada unida a una entrada (E1, E2, E3, E4) dada y un extremo libre de una guía de onda de salida unido a una salida (S1, S2, S3, S4) dada es constante para todos los elementos (631, 632, 633, 634), **caracterizada porque** las guías de onda de entrada y de salida son rígidas, y **porque** cada red (601) de acopladores de un elemento (631) está girada en un ángulo predeterminado con relación a la red (602) de acopladores del elemento (632) inmediatamente inferior.
2. Red (600, 802) de formación de un haz para una matriz de antenas según la reivindicación 1, **caracterizada porque** una red (40) de acopladores en cruz está formada por una pluralidad de acopladores (401, 402, 403, 404) de K entradas y K salidas dispuestos para formar una cruz.
3. Red (600, 802, 71) de formación de un haz para una matriz de antenas según una de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizada porque** el valor del ángulo predeterminado es sustancialmente igual a un múltiplo de 360° dividido por el número N de elementos de antena a alimentar.
4. Red (600, 802) de formación de un haz para una matriz de antenas según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada porque** dichos extremos libres de las guías de onda (621, 622, 623, 624) de entrada están dispuestos en un primer plano (701) sustancialmente paralelo al plano (700) de la red (601, 802, 71) en cruz y dichos extremos libres de las guías de onda (611, 612, 613, 614) de salida están dispuestos en un segundo plano (702) sustancialmente paralelo al plano (700) de la red (601, 802, 71) en cruz y dispuesto en el lado opuesto al primer plano (701).
5. Red (600, 802, 71) de formación de un haz para una matriz de antenas según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada porque** los extremos libres (931, 932, 933, 934) de las guías de onda (911, 912, 913, 914) de salida están dispuestos sobre la circunferencia de un círculo (930) de forma equidistantemente distribuida.
6. Red (600, 802, 71) de formación de un haz para una matriz de antenas según la reivindicación 5, **caracterizada porque** las guías de onda (911, 912) de salida unidas a un par de salidas (S1, S2) emparejadas están orientadas, en su conexión con dichas salidas (S1, S2), de manera que formen entre sí un ángulo sustancialmente igual a $180/K$ grados.
7. Red (600, 802, 71) de formación de un haz para una matriz de antenas según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada porque** el número total $2K$ de entradas y el número total $2K$ de salidas de la matriz es igual a cuatro.
8. Red (600, 802, 71) de formación de un haz para una matriz de antenas según la reivindicación 7, **caracterizada porque** cada guía de onda (911) de salida comprende el menos una primera rama (91), unida a una primera salida (S1) de una red (910) de acopladores en cruz, que se extiende en una dirección que forma un ángulo de 45° con el eje (A1) que pasa por dos salidas (S1, S4) opuestas de dicha red (910) de acopladores, una segunda rama (92) unida en un extremo a la primera rama (91) y que se extiende en el otro extremo hasta un punto del eje (D1) de simetría de dicho círculo (930) que pasa por el extremo libre (931) de la guía de onda (911) y una tercera rama (93) unida a la segunda rama (92) y que se extiende hasta el extremo libre (931).
9. Red (600, 802, 71) de formación de un haz para una matriz de antenas según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada porque** dichas guías de onda están formadas en aluminio.
10. Matriz de antenas **caracterizada porque** comprende una pluralidad de elementos radiantes dispuestos en submatrices (811) de antenas, estando dispuestas las entradas de alimentación de dichas submatrices (811) de antenas de manera equidistantemente distribuida sobre la circunferencia de un círculo, un repartidor (803) para dividir la potencia de una señal de alimentación entre la pluralidad de elementos radiantes y una red (802) de formación de un haz según una de las reivindicaciones 1 a 9 dispuesta de manera que los extremos libres de las guías de onda (823) de entrada estén conectados a las salidas de dicho repartidor (803) y los extremos libres de las guías de onda (821) de salida estén conectados a las entradas de alimentación de las submatrices (811) de antenas.
11. Matriz de antenas según la reivindicación 10, **caracterizada porque** cada elemento de dicha red (802) de formación de un haz está conectado a un número igual a $2K$ de submatrices (811) de antenas cuyas entradas de

alimentación están equidistantemente distribuidas sobre dicho círculo.

12. Matriz de antenas según una de las reivindicaciones 10 u 11, **caracterizada por que** cada submatriz (811) de antenas consiste en una pluralidad de elementos radiantes dispuestos linealmente sobre la superficie conformada de un cono.

5 13. Matriz de antenas según una de las reivindicaciones 10 a 12, **caracterizada por que** comprende además, sobre cada guía de onda de entrada, un desfasador (804) adecuado para aplicar un desfase a la señal de alimentación.

14. Matriz de antenas según una de las reivindicaciones 10 a 13, para su utilización en la banda de frecuencias Ka.

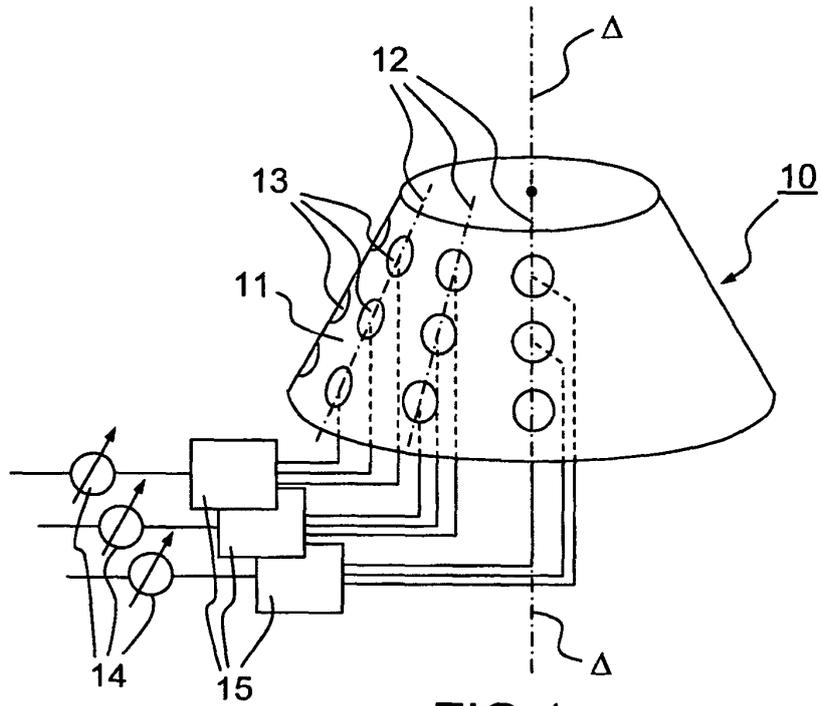


FIG.1

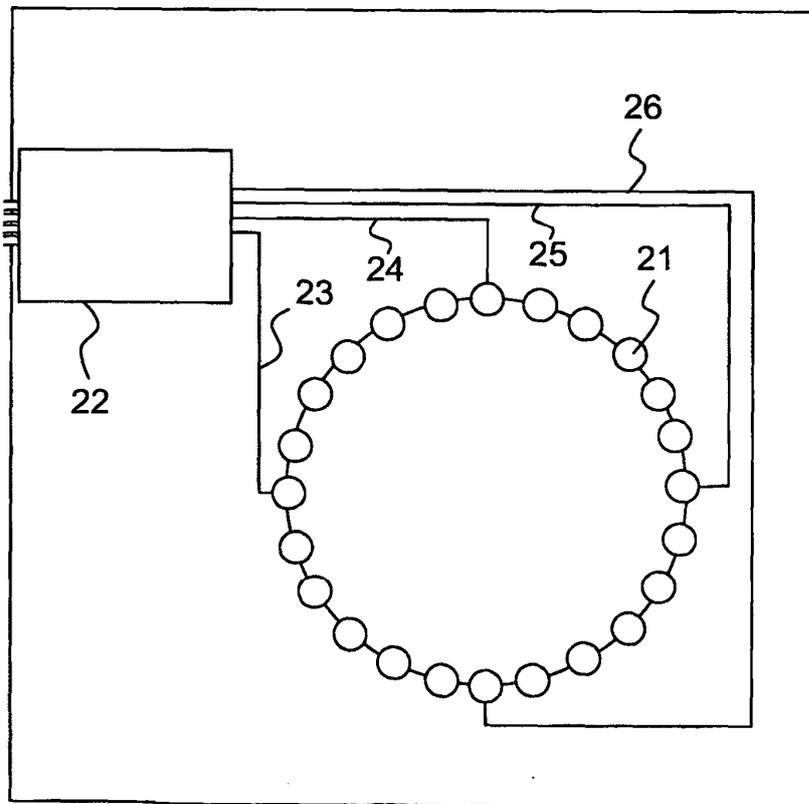


FIG.2

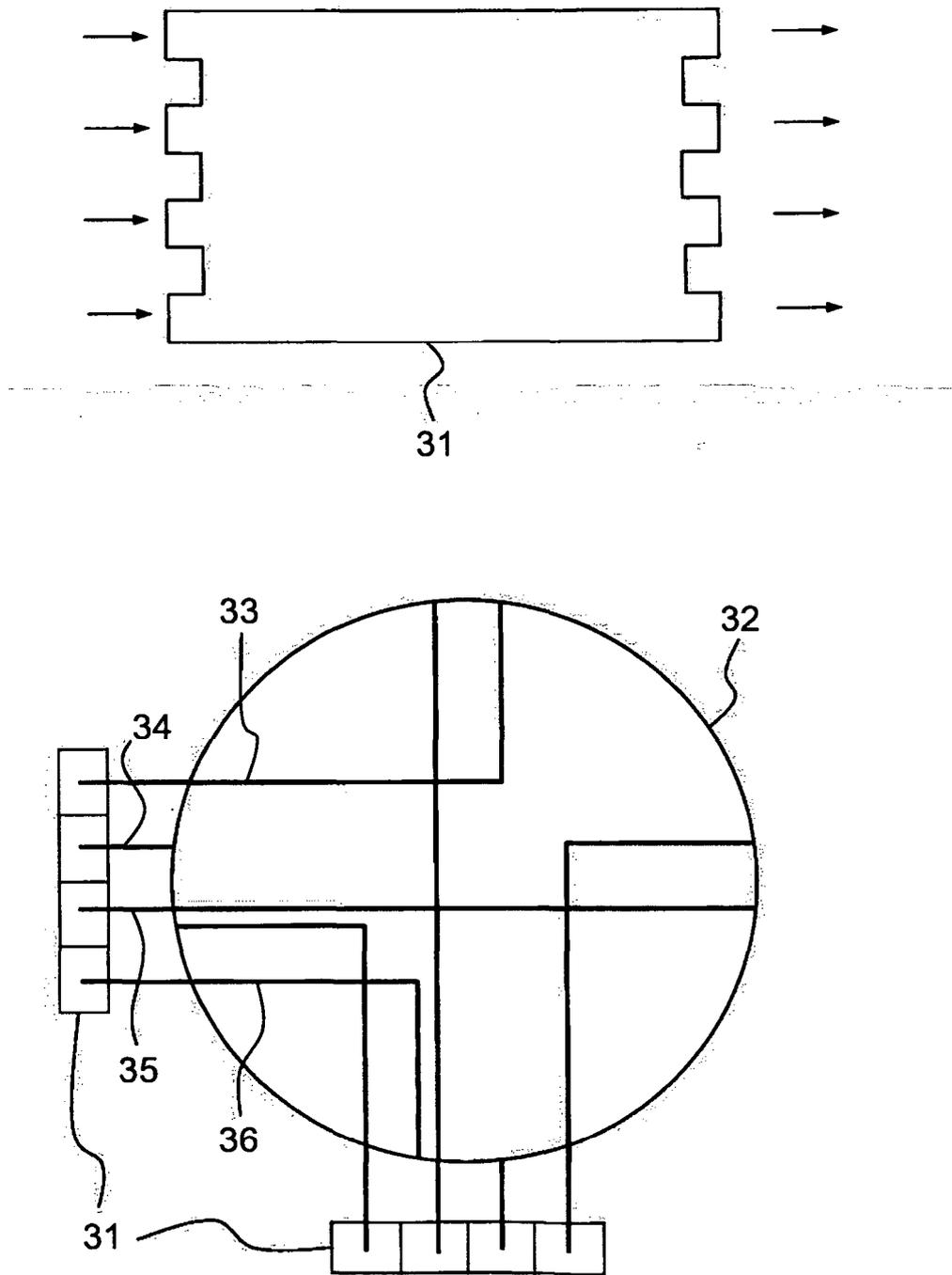


FIG.3

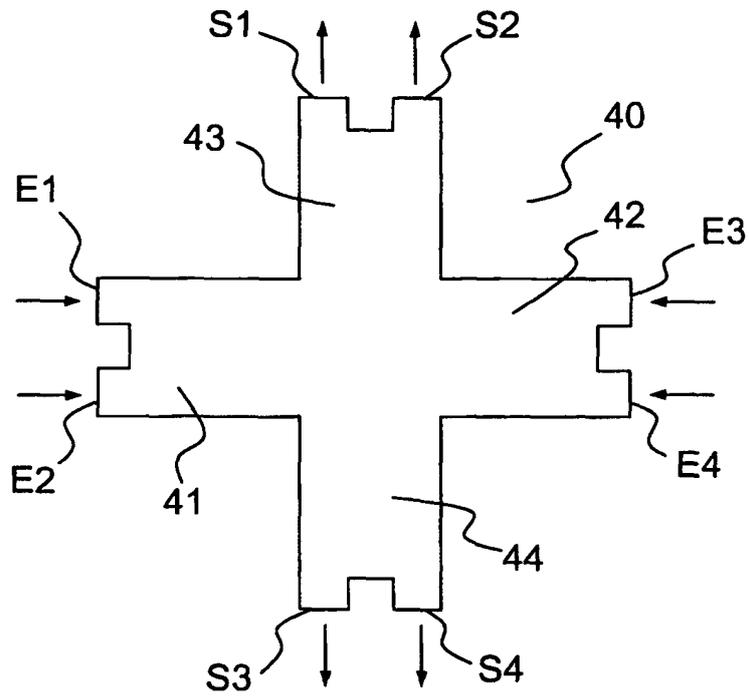


FIG. 4a

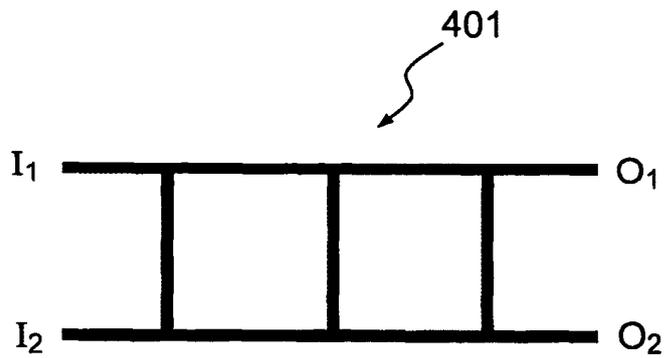
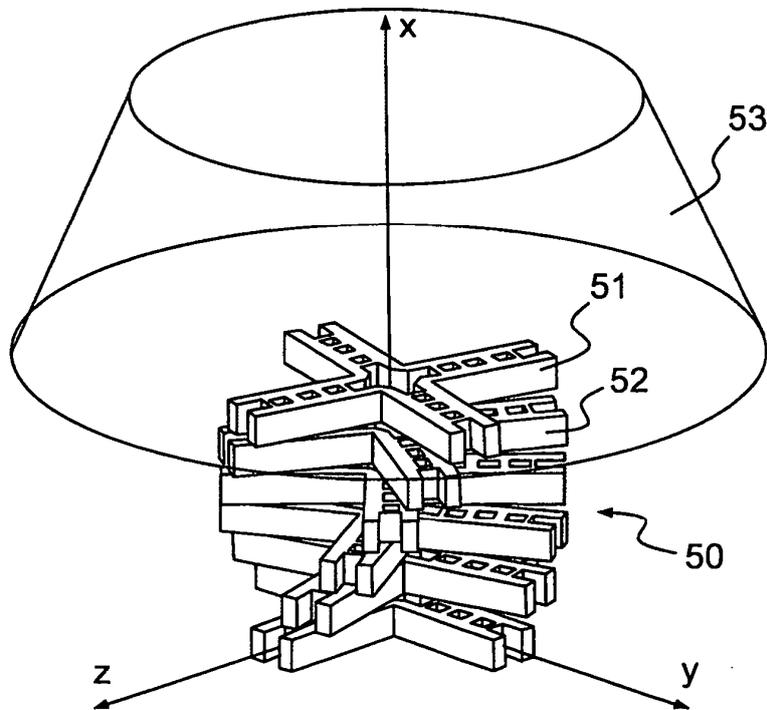
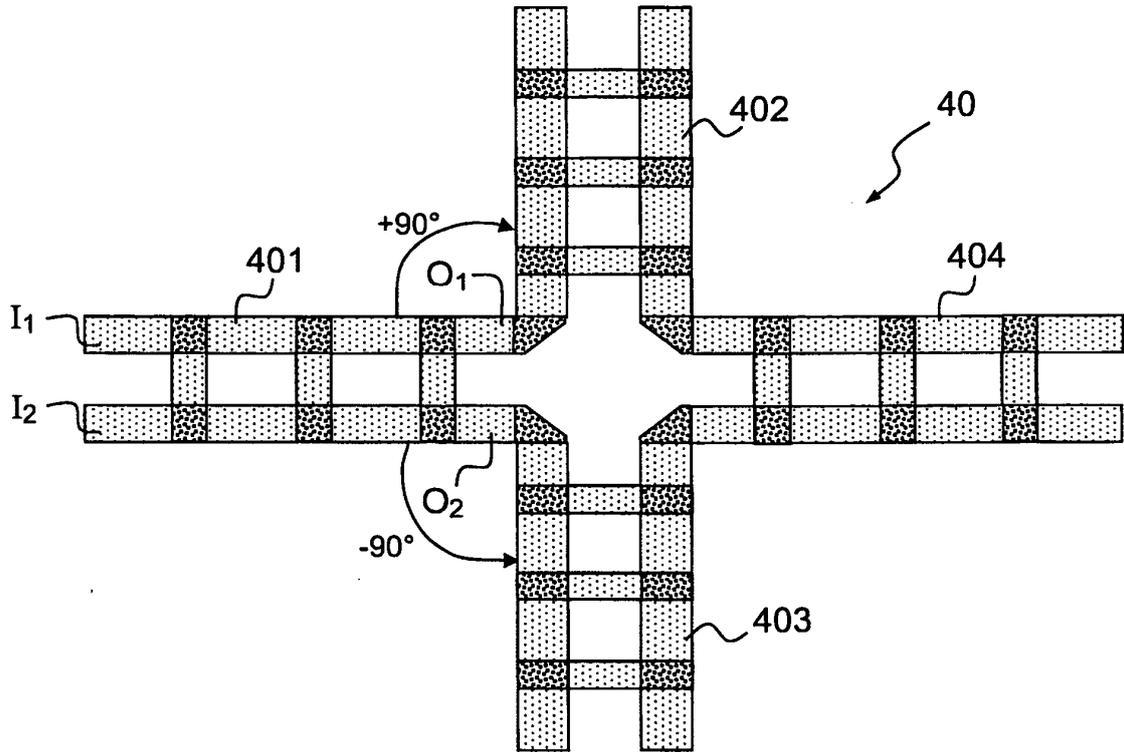


FIG. 4b



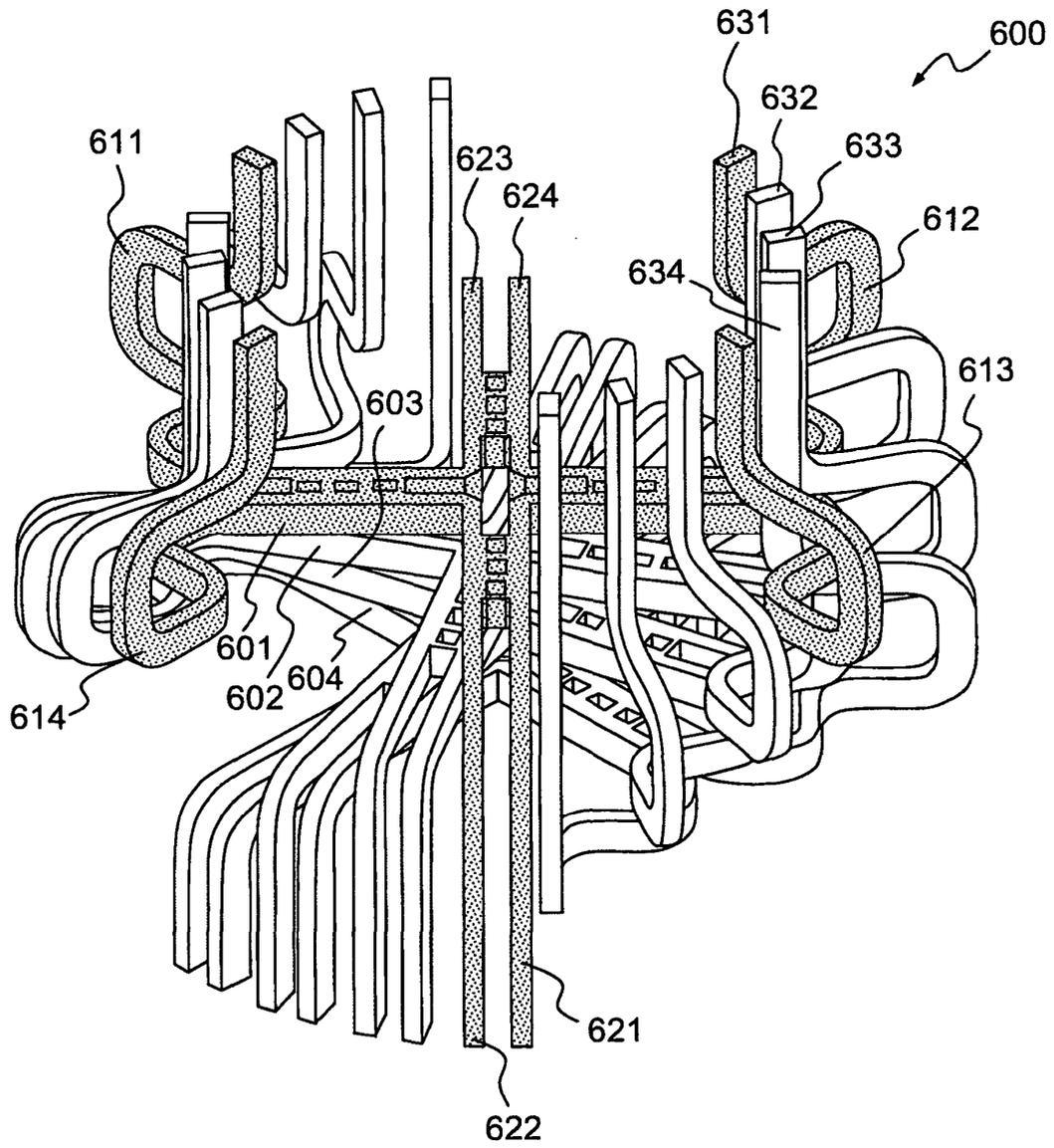
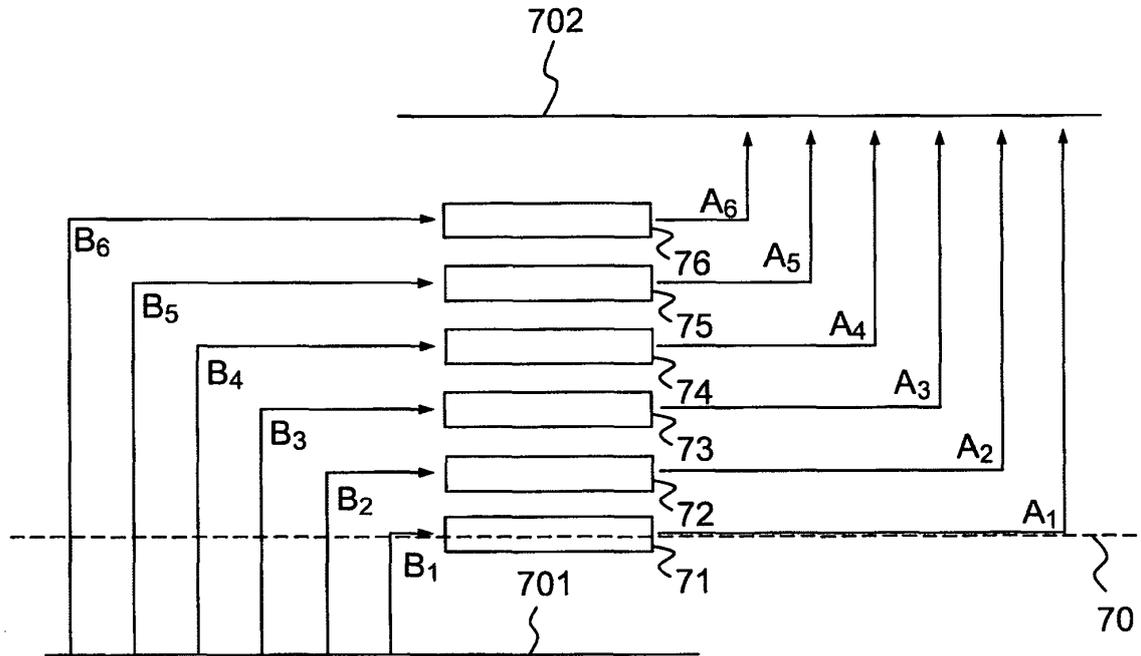


FIG.6



$$A_1 + B_1 = A_2 + B_2 = A_3 + B_3 = A_4 + B_4 = A_5 + B_5 = A_6 + B_6$$

FIG.7

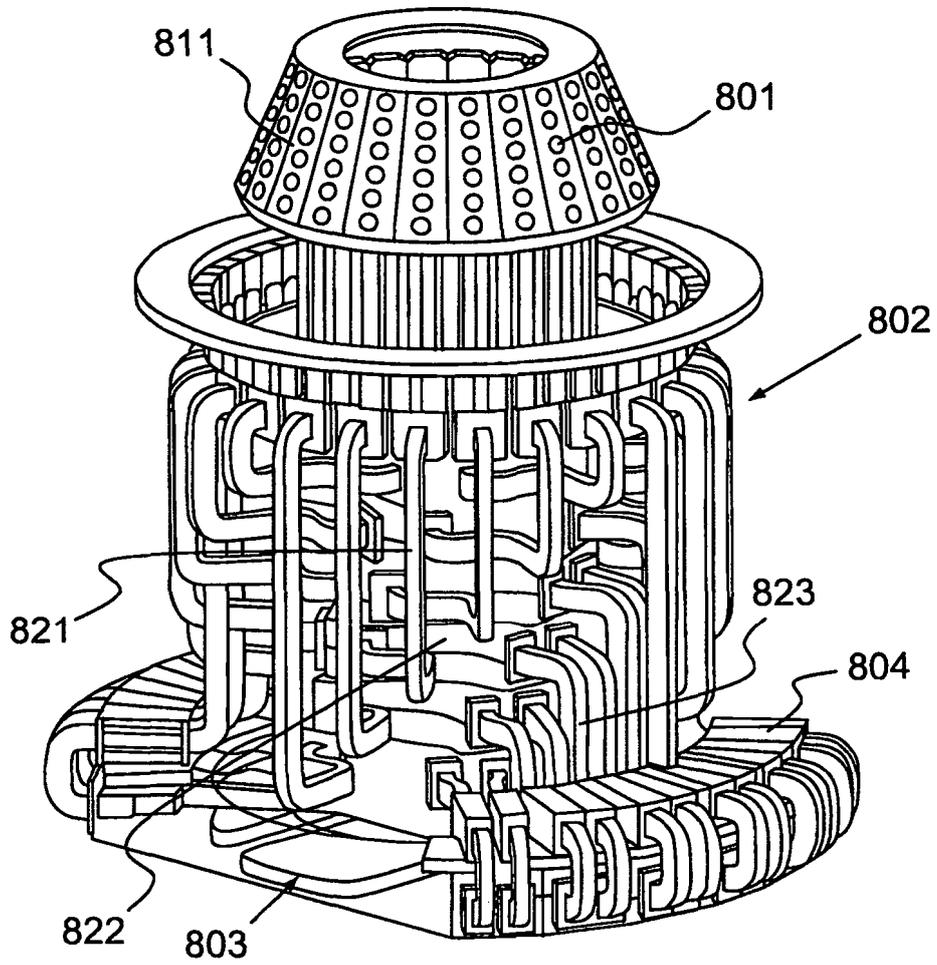


FIG.8a

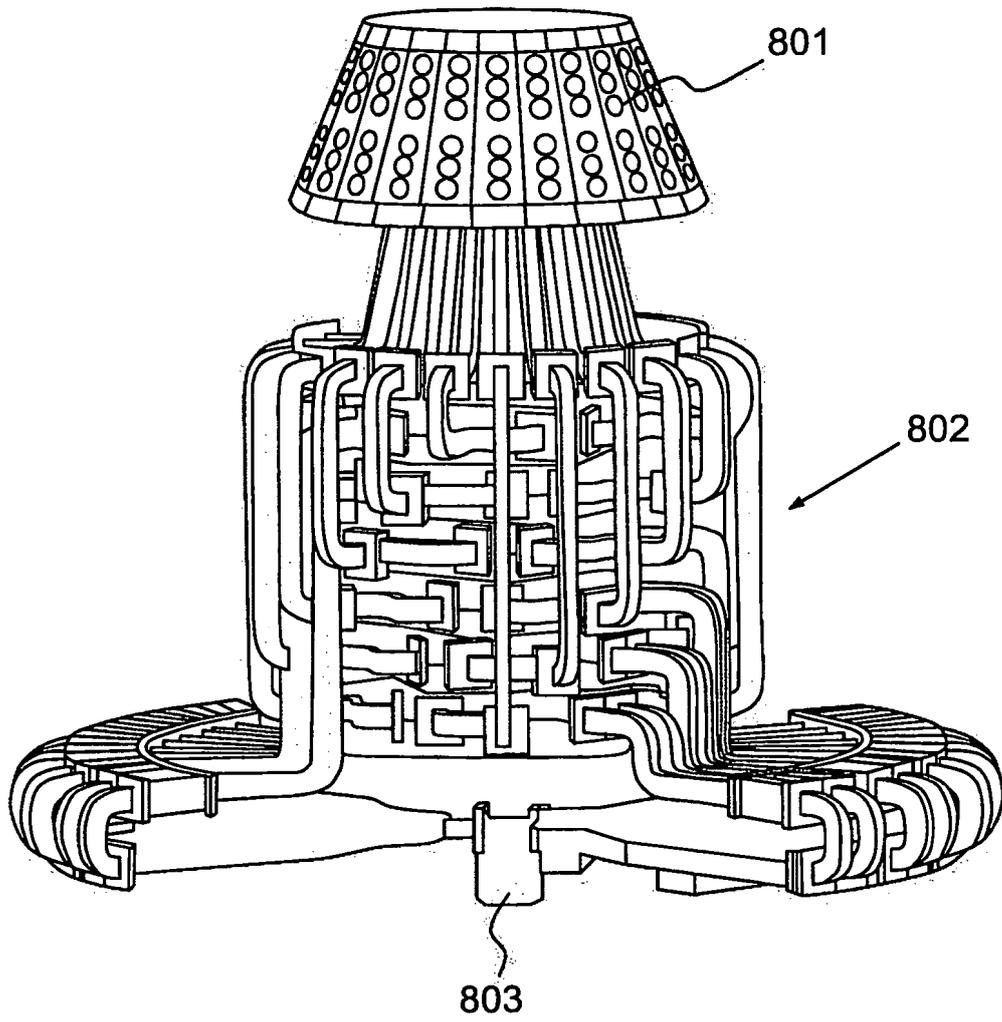


FIG.8b

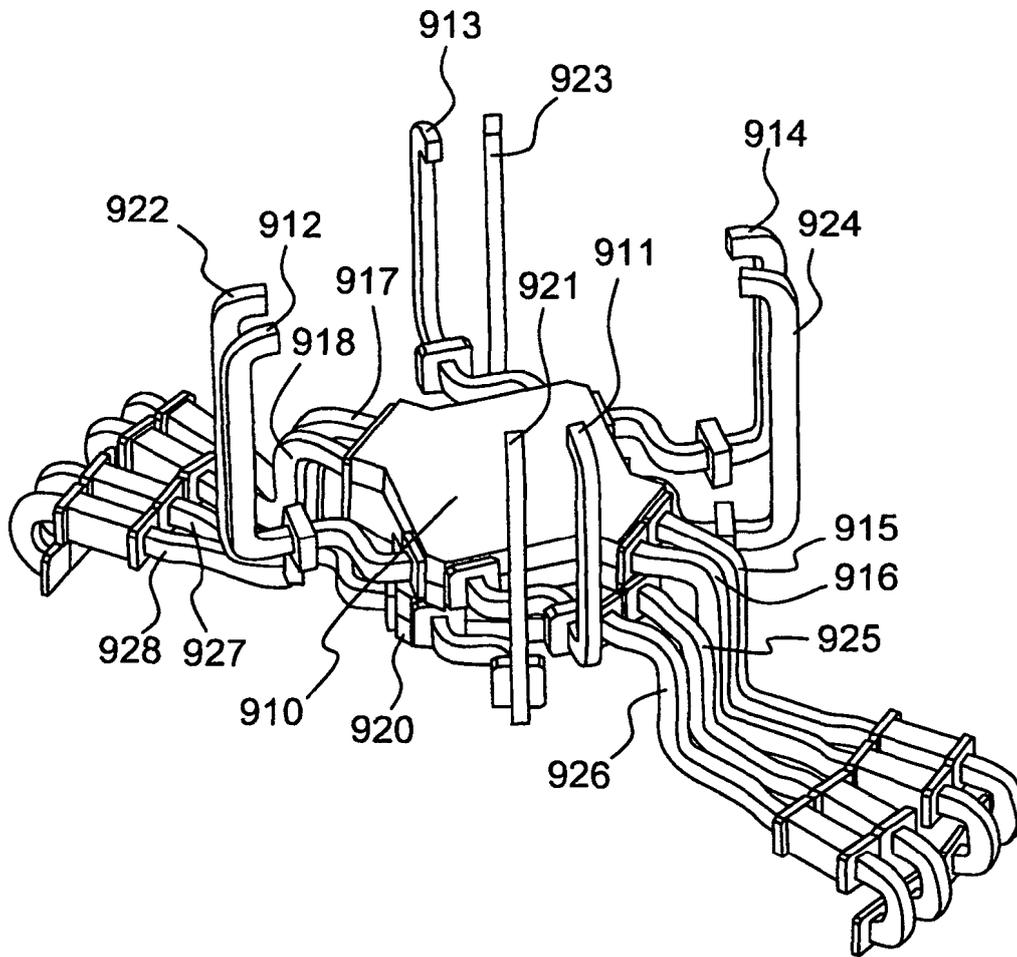


FIG.9

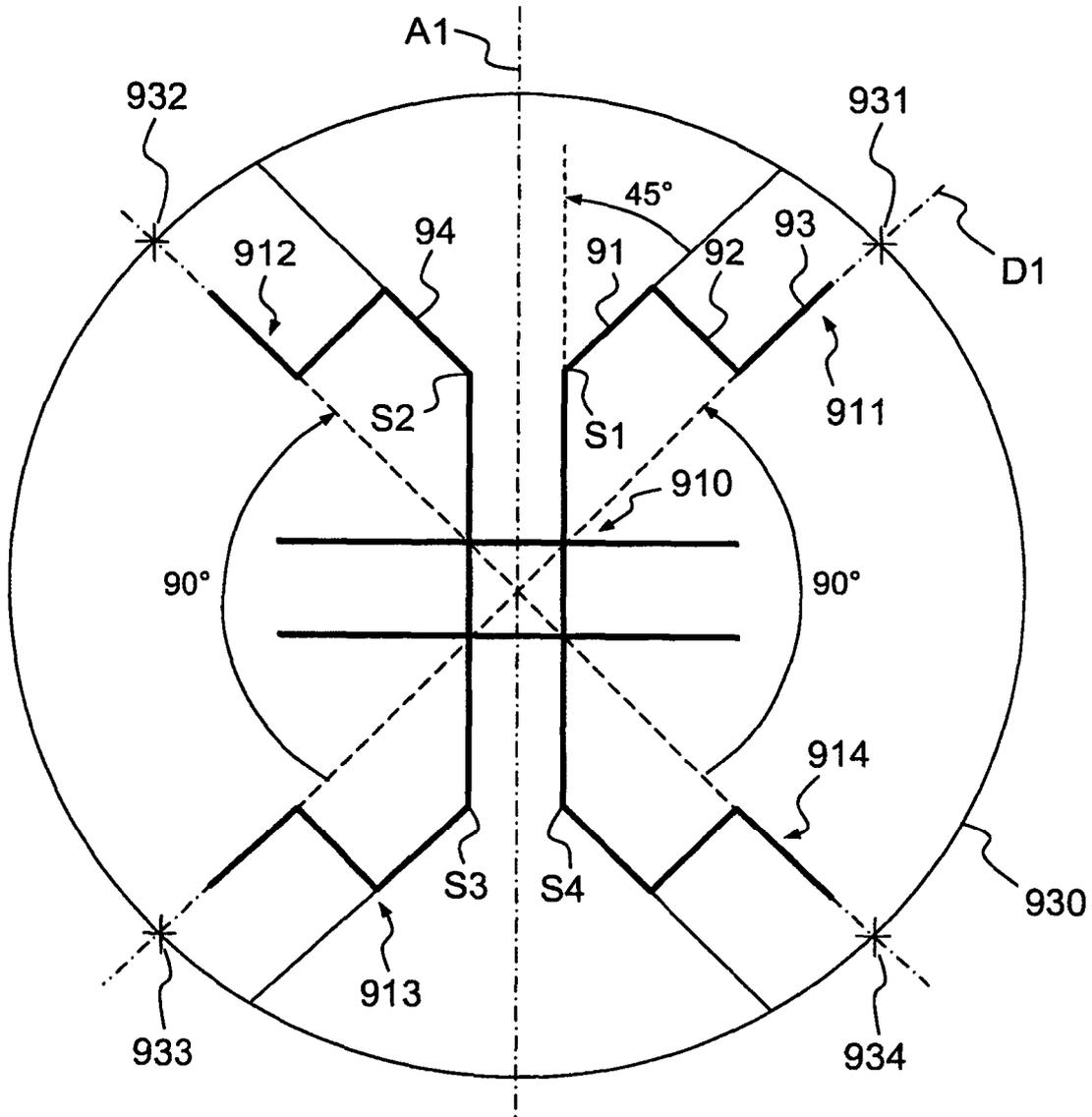


FIG.10

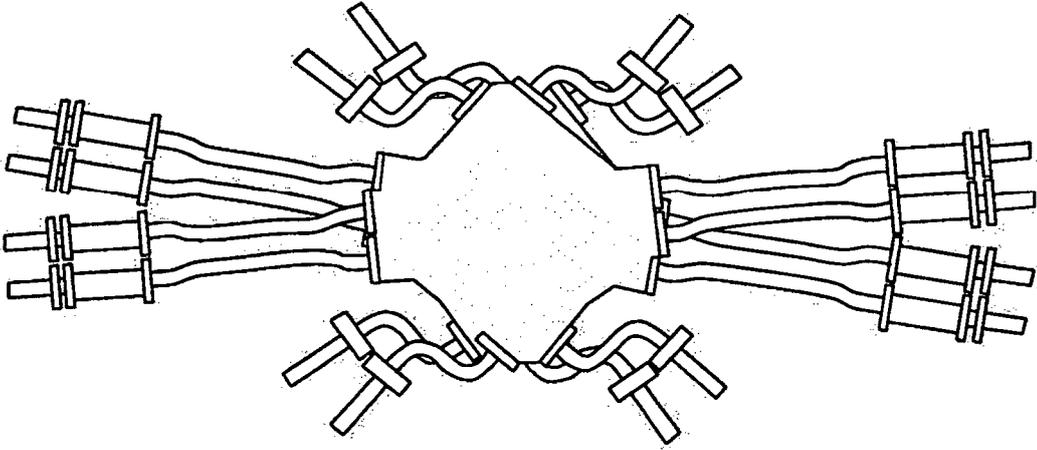


FIG.11