



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 287 889**

51 Int. Cl.:

G01S 7/03 (2006.01)

H01Q 21/00 (2006.01)

H01Q 23/00 (2006.01)

H01Q 21/20 (2006.01)

H01Q 25/00 (2006.01)

H01P 5/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **05425462 .8**

86 Fecha de presentación : **28.06.2005**

87 Número de publicación de la solicitud: **1630570**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **01.03.2006**

54

Título: **Módulo transceptor para sistema de dos antenas con elementos en fase.**

30

Prioridad: **12.07.2004 IT RM04A0345**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.12.2007

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.12.2007

73

Titular/es: **Elettronica S.p.A.**
Via Tiburtina Valeria Km 13,700
00131 Roma RM, IT

72

Inventor/es: **Gemma, Maurizio;**
Giolo, Giancarlo y
De Santis, Giovanni

74

Agente: **Carpintero López, Francisco**

ES 2 287 889 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

Módulo transceptor para sistema de dos antenas con elementos en fase.

5 La presente invención se refiere a un módulo transceptor dual, en particular para antenas de elementos en fase.

Los sistemas modernos de microondas, tales como los sistemas de radar, para muchas aplicaciones tales como las aplicaciones navales y para sistemas de vigilancia aeroespacial, es necesario que cubran sectores angulares que tengan una apertura considerable, que excede habitualmente de 180 grados, conmutando de transmisión a recepción y viceversa, y posicionando el haz emitido de una manera extremadamente precisa dentro de tiempos del orden de unas pocas decenas de nanosegundos, mientras que la frecuencia operativa varía, en caso necesario, dentro de tiempos del mismo orden de magnitud.

10 La solución conocida a este problema en la técnica anterior, consiste en el uso de dos antenas adyacentes de elementos en fase, posicionadas de tal modo que cada una de ellas cubre un sector espacial diferente.

La presente invención se refiere a un módulo transceptor que puede proporcionar esta función con la utilización de un número de módulos transceptores igual a la mitad de los que se requieren para la solución convencional, con los consiguientes beneficios en términos de dimensiones globales y de costes del equipo.

20 El documento US 2003/0112184 A1 describe un módulo transceptor para una antena de elementos en fase, que comprende un acoplador Lange.

Razones para el desarrollo

25 En los últimos años, una categoría de antenas conocidas como antenas de elementos en fase, ha experimentado un considerable desarrollo desde el momento en que esto se ha hecho posible en virtud del desarrollo de componentes activos de microondas de estado sólido para cumplir con requisitos operativos crecientemente críticos.

30 En los sistemas modernos de microondas más avanzados, tal como los sistemas de radar, se requiere que cubran sectores angulares considerables tanto en transmisión como en recepción, y sobre una gama amplia de frecuencias.

La solución convencional consiste en utilizar dos antenas de elementos en fase, posicionadas de tal manera que cada una de ellas cubre un sector espacial diferente, en el que cada elemento radiante está excitado por un módulo de microondas individual que opera tanto en transmisión como en recepción (indicado como "TX/RX" en lo que sigue).

35 Un examen de esta solución, revela inmediatamente que tiene numerosos puntos críticos, tales como:

- 40 - la necesidad de establecer una red de distribución de señal de RF que es extremadamente compleja y difícil de ajustar, para alimentar los elementos radiantes individuales de las dos antenas (todas las trayectorias de radiofrecuencia deben estar en fase);
- alto coste; esto se debe a que la necesidad de alimentar cada elemento de antena radiante de cada antena de elementos en fase con un módulo TX/RX, significa que el coste de una antena se incrementa linealmente con la elevación del número de esos elementos radiantes.

45 Puesto que los requisitos operativos para nuevos sistemas de radar necesitan un nivel de rendimiento que solamente puede ser alcanzado con un número muy grande de elementos radiantes (tantos como varios miles de elementos), el coste de una antena de elementos en fase controlada por medio de módulos TX/RX resulta prohibitivo a partir del momento en que se necesiten unas pocas decenas de elementos. Esto fue particularmente cierto en los casos en que, en base a la tecnología disponible hasta finales de los años 1990, los módulos de TX/RX se realizaron por medio de tecnología híbrida, en la que cada función de microondas individual era proporcionada por un dispositivo o circuito de película delgada.

55 Recientemente, la tecnología de arseniuro de galio (GaAs) ha apuntado una manera de solucionar este problema.

Esto se debe a que el uso de circuitos de microondas monolíticos (MMICs) de arseniuro de galio (GaAs), con un alto grado de integración, combinados con el uso de máquinas automáticas de montaje y comprobación, ha permitido que se reduzca el coste de un módulo TX/RX individual en un factor de entre 3 y 4, haciendo así que un equipo que utiliza antenas de elementos en fase de estado sólido, sea competitivo.

60 El uso de una estructura de circuito particularmente eficaz, según se describe en lo que sigue, ha hecho que sea posible reducir a la mitad el número de módulos TX/RX requeridos para operar una antena multi-sección.

65 *Aspecto innovador*

El elemento de caracterización principal del módulo TX/RX de acuerdo con la presente invención, consiste en su capacidad para excitar elementos radiantes de una antena de elementos en fase, posicionados sobre superficies planares

ES 2 287 889 T3

no conectadas unas con otras, y, como resultado de su estructura de circuito, su capacidad para utilizar solamente el 50% de los módulos necesarios en la solución convencional.

5 Esto se consigue asegurando que el total de la potencia de radiofrecuencia generada se encuentra disponible para cada una de las secciones de la antena seleccionada previamente, sin pérdida alguna de eficacia en la conmutación y con un rendimiento que es absolutamente idéntico al alcanzable cuando se utiliza el doble del número de módulos.

Las ventajas principales de la solución conforme a la presente invención, se relacionan a continuación:

10 - El número de módulos TX/RX requeridos que se precisa para proporcionar la antena, se reduce a la mitad.

- Existe un rendimiento técnico garantizado que es idéntico al de cualquier equipo que utilice un módulo para proporcionar cada elemento radiante individual.

15 - La complejidad de la red de distribución de radiofrecuencia entre el equipo y la antena, se reduce.

- Los tiempos requeridos para la construcción, el montaje y el ajuste de la antena de elementos en fase, se reducen considerablemente.

20 - Por último, existe un considerable impacto positivo, que es muy significativo en términos de porcentaje, sobre el coste de la antena, lo que en un equipo moderno de radar constituye una proporción altamente significativa del coste del equipo.

25 El diseño del circuito y la tecnología utilizados para obtener las características que se han mencionado en lo que antecede, se exponen a continuación.

Sistemas de microondas, y el problema de cobertura azimutal

30 Según se ha mencionado anteriormente, los sistemas modernos de microondas, de los tipos de radar o de comunicaciones, se necesitan habitualmente para detectar, analizar y/o transmitir señales de RF en regiones del espacio circundante que tienen una amplitud angular considerable, excediendo con frecuencia los 180 grados, y a veces, con el fin de obtener cobertura en todas las direcciones, lo que es igual a 360 grados (cobertura acimutal de 360°).

35 Los requisitos operativos de los sistemas actuales son también tales que debe ser posible procesar las señales y posiciones del haz de antena en cualquier dirección en tiempos del orden de unas pocas decenas de nanosegundos.

40 Durante el desarrollo de los sistemas de microondas, la aparición de estos requisitos ha conducido a la exclusión del uso de antenas de rotación mecánica (parábola, cuernos, etc), y de las operadas por medio de sistemas de control motorizados en general, y ha creado una tendencia en la técnica hacia soluciones que utilizan antenas de elementos en fase con extensiones lineales o planares, en las que cada elemento radiante individual viene suministrado por un módulo transceptor (TX/RX) individual de estado sólido, a base de MMIC de arseniuro de galio (GaAs).

45 La presente invención propone un módulo transceptor dual que opera a frecuencias de microondas para antenas de elementos en fase configurables, para su aplicación tanto a antenas en red simple como doble, y que incluye un circuito de radiofrecuencia que comprende un conmutador en una entrada y dos salidas que excitan un acoplador Lange, cuyas dos salidas están conectadas a dos amplificadores de microondas cuyas salidas están acopladas por medio de un acoplador Lange adicional, incorporando el módulo transceptor dual circuitería digital y analógica para controlar sus modos operativos, estando el citado acoplador Lange adicional diseñado para suministrar energía, a frecuencia de microondas, a una primera y una segunda red o partes de una antena de elementos en fase, a través de un primer y un
50 segundo circuladores, diseñados para dirigir la señal recibida en recepción desde la primera y la segunda red o partes de la antena de elementos en fase, hacia un circuito de recepción. De ese modo, el conmutador que cuenta con dos salidas, se conecta a las entradas del acoplador Lange.

55 La presente invención va a ser descrita ahora con referencia a una realización normalmente preferida de la misma, descrita a título ilustrativo y sin previsiones restrictivas en base a las figuras de los dibujos que se acompañan, en los que:

60 La Figura 1 muestra una primera disposición de acuerdo con la técnica anterior para excitar dos elementos radiantes de una antena de elementos en fase, en sus aspectos generales y elementales;

la Figura 2 muestra un diagrama parcial de una segunda disposición convencional para excitar dos conjuntos de elementos radiantes de antenas de elementos en fase, utilizando conmutadores entre los módulos individuales y los elementos radiantes de dos conjuntos;

65 la Figura 3 muestra un diagrama esquemático de bloques de la solución conforme a la invención, para excitar dos conjuntos de elementos en fase por medio de un único conjunto de elementos transceptores (TX/RX);

ES 2 287 889 T3

la Figura 4 muestra un diagrama simplificado de la disposición conforme a la invención, enfocada al conmutador que tiene las dos salidas conectadas a las entradas del acoplador Lange;

5 las Figuras 4a y 4b muestran con detalle un acoplador Lange con referencia a dos posiciones del conmutador de RF (una vía, dos salidas), y

la Figura 5 muestra un diagrama general de bloques de la disposición conforme a la presente invención.

Descripción detallada de la invención

10

Solución de la técnica anterior

Una primera solución de la técnica anterior ha sido mostrada en la Figura 1, la cual representa el diagrama de un sistema de antena consistente en dos conjuntos planares adyacentes, orientados cada uno hacia un sector espacial diferente, para proporcionar una cobertura acimutal de al menos 180°. Según se muestra en la Figura 1, la cual re-
15 presenta el diagrama utilizado habitualmente para este tipo de antenas, cada elemento radiante está excitado por un módulo TX/RX simple, el cual recibe comandos de actuación individuales desde una unidad de proceso del sistema e intercambia las señales de RF de entrada y de salida con el transceptor. En particular, la Figura 1 muestra una unidad 1.1 de proceso conectada por medio de enlaces 1.5a y 1.5b digitales con una primera unidad 1.2a y 1.2b transceptora.
20 Otros enlaces 1.6a y 1.6b de radiofrecuencia digitales interconectan un primer conjunto de módulos 1.3a TX/RX y un segundo conjunto de módulos 1.3b TX/RX. Estos conjuntos de módulos TX/RX contienen los circuitos de recepción y de transmisión de los conmutadores de transmisión/recepción, etc., según es bien conocido por los expertos en la materia.

25 El conjunto de módulos 1.3a de TX/RX, se ha conectado por medio de una serie de enlaces 1.7a de RF con un primer conjunto de elementos 1.4a radiantes. De la misma manera, una serie de enlaces 1.7b de radiofrecuencia conectan el conjunto de módulos 1.3b de TX/RX con el segundo conjunto de elementos 1.4b radiantes.

Las ventajas principales de esta configuración son las siguientes:

30

- la potencia radiada es directamente proporcional al número de elementos del conjunto;
- si alguno de los elementos radiantes falla, la degradación del rendimiento del sistema es aceptable.

35 Por otra parte, las desventajas son las siguientes:

40

- un coste directamente proporcional al número de elementos radiantes utilizados;
- la alta complejidad mecánica y estructural, y la consiguiente complejidad de mantenimiento.

La naturaleza extremadamente crítica del parámetro coste, debe ser enfatizada. Esto se debe a que, con el fin de conseguir el rendimiento requerido por los modernos sistemas de microondas, es necesario utilizar antenas que incrementen el número de módulos de TX/RX que, en caso de que se utilicen las técnicas anteriores, representan de lejos los elementos más caros del coste de la antena, hasta el punto de que algún equipo resulta económicamente
45 irrealizable.

Con el fin de superar estos inconvenientes, se ha desarrollado una solución en la técnica anterior que requiere teóricamente el uso de solamente el 50% de los módulos TX/RX de la solución mostrada en la Figura 1, para el mismo número de elementos radiantes.

50

En la solución mostrada en la Figura 2, se podría decir que se utiliza una técnica múltiplex entre dos conjuntos de elementos radiantes. La Figura 2 empieza a nivel de los módulos TX/RX que aparecen en la parte de la derecha de la Figura 1.

55 Según se muestra en la Figura 2, los comandos digitales se han indicado mediante 2.4a, y las conexiones de entrada/salida de señal de RF para un módulo 2.1a TX se han indicado mediante 2.5a. La entrada/salida de este módulo 2.1a TX se ha conectado a un conmutador 2.2a de entrada simple, salida dual, el cual, según se muestra en el diagrama de la Figura 2, se ha conectado respectivamente a una primera fila de elementos radiantes del primer conjunto de elementos 2.3a radiantes y a una primera fila de elementos radiantes del segundo conjunto de elementos
60 2.3b radiantes.

Por motivos de simplicidad, la Figura 2 muestra un modulo 2.1b TX/RX adicional, un segundo conmutador 2.2b de entrada simple, salida dual, un módulo 2.1n TX, y un conmutador 2.2n de entrada simple y salida dual, respectivamente, que excitan filas correspondientes de elementos radiantes. Los otros bloques y conexiones de circuito han sido indicados mediante 2.4b, 2.5b, 2.4n y 2.5n. La disposición completa resulta evidente para los expertos en la materia,
65 y se considera que no es precisa ninguna ilustración adicional.

ES 2 287 889 T3

En esta solución, entonces, cada módulo TX/RX suministra dos elementos radiantes a través de un conmutador rápido de radiofrecuencia de entrada simple, salida dual, de estado sólido.

Las ventajas de esta solución son como sigue:

- una reducción del número de módulos TX/RX y del consiguiente coste de la antena, en un factor que es teóricamente igual al 50%;
- una reducción de las dimensiones globales y de la complejidad del conjunto.

Los inconvenientes pueden ser resumidos como sigue:

- es necesario utilizar conmutadores de RF que puedan manejar altos niveles de potencia, y que por lo tanto son particularmente caros;
- en transmisión, existe una reducción de la potencia radiada para un número igual de elementos radiantes;
- en recepción, existe una reducción de la sensibilidad de recepción del equipo para un número igual de elementos radiantes;
- además, existe un deterioro de la característica de degradación del rendimiento en caso de fallo, debido tanto al número más pequeño de módulos de TX/RX, como a la introducción de los conmutadores de RF que constituyen componente adicionales que pueden ser objeto de fallo.

Se ha expuesto anteriormente que la reducción del coste de la antena puede solamente aproximarse teóricamente al 50%.

Esto es así debido a que se debe tener en cuenta que la introducción de conmutadores de RF da lugar a dos series de problemas. La primera de éstas consiste claramente en un coste adicional al del 50% de los módulos de TX/RX utilizados en la configuración del equipo. La segunda, y como factor predominante, está relacionada con las características de los conmutadores de RF. Esto se debe a que incluso el mejor de estos dispositivos introduce una atenuación del orden de 2-3 dB en la trayectoria de RF, lo que significa que el 40-50% de la potencia de radiofrecuencia que pasa a través de los mismos se pierde en forma de disipación de calor. El mismo fenómeno se encuentra también presente en el caso de la recepción, en el que se encuentra una atenuación indeseada del orden de 2-3 dB. Por lo tanto, la señal recibida desde la antena se reduce en recepción, con una pérdida consiguiente de sensibilidad del equipo y también una reducción de la potencia radiada en transmisión.

En consecuencia, con el fin de no introducir degradación en el rendimiento global del equipo con respecto a la técnica conocida mostrada en la Figura 1, y con el fin de cumplir con las especificaciones del equipo, es necesario añadir elementos radiantes y módulos TX/RX correspondientes sobre, y por encima del 50% teórico. En realidad, por lo tanto, para el mismo rendimiento, la reducción alcanzable en el coste del sistema de antena está próxima al 30%.

La solución de acuerdo con la presente invención

La Figura 3 muestra, de forma altamente esquemática, la solución de acuerdo con la presente invención.

Según se muestra en la Figura 3, existe una unidad 3.1 de proceso conectada mediante enlaces 3.5 digitales a una unidad 3.2 transceptora. La unidad 3.2 transceptora se encuentra conectada, por medio de una serie de enlaces de RF y digitales, a un conjunto 3.3 de módulos TX/RX. Según se muestra en el lado derecho del bloque indicado mediante 3.3, cada módulo está equipado con un par de entradas/salidas conectadas por medio de enlaces de RF a filas correspondientes de módulos radiantes del primer conjunto 3.4a de elementos radiantes, y de módulos radiantes del segundo conjunto 3.4b de elementos radiantes. Lo mismo se aplica, como se muestra en el dibujo, a las filas posteriores de elementos radiantes del primer y segundo conjuntos de elementos radiantes. Esto ha conducido al desarrollo de un módulo TX/RX con dos salidas que proporciona un ahorro de coste real para la antena del orden del 50%, mientras que se mantiene el rendimiento técnico de una equivalente en la que cada elemento radiante está alimentado por un módulo TX/RX individual.

Los detalles de esta construcción se proporcionan en lo que sigue, con referencia a la descripción de la Figura 5.

Las ventajas proporcionadas por esta solución son:

- una reducción de costes del 50% en comparación con la antena de referencia;
- una potencia radiada igual a la de la antena de referencia;
- una sensibilidad de recepción igual a la de la antena de referencia;

ES 2 287 889 T3

- una reducción de la complejidad mecánica y de las dimensiones globales de la antena;

- una mayor facilidad de mantenimiento si se requieren reparaciones a continuación de algún fallo de los elementos individuales.

5

Un inconveniente secundario se deriva del hecho de que, en caso de fallo de los módulos, existe una degradación de rendimiento con respecto al de la antena de referencia mostrada en las Figuras 1 y 2, debido a la reducción del 50% de módulos TX/RX.

10 Para comprender el modo de operación del módulo TX/RX con dos salidas que constituye el núcleo de la presente invención, se puede hacer referencia a la Figura 4, la cual muestra la parte del circuito interno del módulo que permite que se alcance el rendimiento mencionado anteriormente. La parte mostrada en la Figura 2 corresponde a la parte de la Figura 5 encerrada en el rectángulo de líneas discontinuas señalado como "Figura 4".

15 El circuito de la Figura 4 muestra el elemento 4.1 el cual es un conmutador de RF de entrada simple, salida dual, conectado a las dos entradas de un amplificador compensado utilizando dos acopladores Lange indicados mediante 4.2a y 4.2b, uno a la entrada y uno a la salida, entre los cuales se han conectado los amplificadores 4.3a y 4.3b MMIC de GaAs.

20 También con referencia a la Figura 4, se supone que el conmutador 4.1 de RF está inicialmente establecido en una cierta posición, por ejemplo la posición "1". Debido a las propiedades de los acopladores Lange, se puede demostrar que una señal de RF presente a la entrada del primer acoplador, se divide en dos componentes de la misma amplitud, con la fase desplazada en 90° cada una con respecto a la otra.

25 Cada una de estas dos componentes es amplificada por el amplificador 4.3b y 4.3a de la rama correspondiente, y aparece a la entrada del siguiente acoplador 4.2b.

En este punto, las dos componentes se dividen y se desplazan en fase a su vez.

30 A la salida del acoplador 4.2b, debido al efecto de las fases introducidas por este acoplador, las fases de todas las componentes son sumadas en una de las dos salidas, y son anuladas en la otra. Como conclusión, la señal presente en una entrada del primer acoplador 4.2a, es amplificada por el amplificador 4.3b y 4.3a, y aparece completa en una salida del segundo acoplador, mientras que en la otra salida no hay presente teóricamente ninguna señal.

35 La Figura 4 y las Figuras 4a y 4b, muestran también los vectores representativos de las señales que pasan a través del sistema, para clarificar la combinación de fase de las diversas señales.

Utilizando la teoría de líneas de transmisión, y con referencia a la Figura 4a, que muestra los vectores que representan las amplitudes de las diversas señales, se puede apreciar que la estructura conocida de un acoplador Lange consiste en cuatro líneas acopladas, interconectadas por pares.

40 De acuerdo con la teoría, si una señal genérica con amplitud V_{in} , frecuencia f y fase φ_1 , en otras palabras, una señal expresada matemáticamente mediante $V_{in}\text{sen}(\omega t + \varphi_1)$, donde $\omega = 2\pi f$, se encuentra presente en la entrada 1 de la Figura 4a, entonces dos señales dadas por las expresiones que siguen, se encuentran presentes en las salidas 2 y 3, definidas como salida acoplada y salida directa, respectivamente:

a) en la salida acoplada:
$$\frac{-V_{in}}{\sqrt{2}}\cos(\omega t + \varphi_1)$$

50

b) en la salida directa:
$$\frac{V_{in}}{\sqrt{2}}\text{sen}(\omega t + \varphi_1)$$

55 La amplitud de la señal en la salida acoplada es igual a la de la señal de la salida directa, pero desfasada en 90° en dirección en sentido directo, mientras que no existe teóricamente ninguna señal presente en la salida 4, denominada puerto aislado.

60 En la Figura 4a, el conmutador de entrada está conectado al puerto 1 del primer acoplador Lange, y en este caso, $V_{in}\text{sen}(\omega t + \varphi_1)$ es la señal de radiofrecuencia que se encuentra ahí presente.

Las señales mostradas en "a" y "b" estarán por lo tanto presentes en las salidas directa y acoplada.

65 Si se considera ahora la señal presente en la salida acoplada, ésta será amplificada y enviada al segundo acoplador Lange, donde se someterá a un proceso similar al descrito anteriormente.

ES 2 287 889 T3

c) $\frac{-V_{in}}{\sqrt{2}} \cos(\omega t + \varphi_1)$ en la salida acoplada del primer acoplador Lange

5 d) $\frac{-GV_{in}}{\sqrt{2}} \cos(\omega t + \varphi_2)$ en la entrada del segundo acoplador Lange, en la que G es

la ganancia del amplificador MMIC, y φ_2 es la fase dependiente de la trayectoria de la señal.

10 e) $\frac{-GV_{in}}{2} \sin(\omega t + \varphi_2)$ en la salida acoplada del segundo acoplador Lange

15 f) $\frac{-GV_{in}}{2} \cos(\omega t + \varphi_2)$ en la salida directa del segundo acoplador Lange.

Si se considera ahora la señal presente en la salida directa del primer acoplador Lange, y se repite la misma evaluación, permitiendo el hecho de que, debido a que el acoplador Lange es completamente simétrico, las señales acoplada y directa sean intercambiadas para una señal que entra desde el puerto definido anteriormente como puerto aislado, encontramos que:

25 g) $\frac{V_{in}}{\sqrt{2}} \sin(\omega t + \varphi_1)$ en la salida directa del primer acoplador Lange

h) $\frac{GV_{in}}{\sqrt{2}} \sin(\omega t + \varphi_2)$ a la entrada del segundo acoplador Lange, en la que G es la

30 ganancia del amplificador MMIC y φ_2 es la fase dependiente de la trayectoria de la señal, considerada que es igual a la trayectoria de la rama superior

35 i) $\frac{-GV_{in}}{2} \cos(\omega t + \varphi_2)$ en la salida acoplada del segundo acoplador Lange

40 l) $\frac{GV_{in}}{2} \sin(\omega t + \varphi_2)$ en la salida directa del segundo acoplador Lange.

En conclusión, las señales que siguen se encontrarán presentes en la salida RF1 de la Figura 4:

45 m) $\frac{-GV_{in}}{2} \sin(\omega t + \varphi_2) + \frac{GV_{in}}{2} \sin(\omega t + \varphi_2) = 0$

mientras que en la salida RF2 existirá:

50 n) $\frac{-GV_{in}}{2} \cos(\omega t + \varphi_2) - \frac{GV_{in}}{2} \cos(\omega t + \varphi_2) = -GV_{in} \cos(\omega t + \varphi_2)$

en otras palabras, sujeta a los cambios de fase introducidos, la señal se encontrará presente en la entrada 1 del primer acoplador Lange, amplificada G veces.

55 Según se ha mencionado en lo que antecede, en virtud de la simetría de estos acopladores, si el conmutador de entrada se dispone en la otra posición, las salidas acoplada y directa se intercambiarán, como se muestra en la Figura 4b.

60 Por razones idénticas a las que se han expuesto anteriormente, las salidas RF1 y RF2 podrán ser también intercambiadas con respecto a la presencia de las señales.

Así, se ha encontrado que, cambiando la posición del conmutador de entrada, la totalidad de la potencia de RF amplificada podría ser dirigida a una u otra de las salidas de RF sin introducir pérdidas de conmutación.

65 Si el conmutador de RF 4.1 se dispone ahora en la entrada, respecto a la salida "2" por ejemplo, encontramos que las salidas sin señal y las que tienen la señal amplificada, han sido intercambiadas. Si la posición del conmutador 4.1 de entrada de RF se cambia a continuación, la totalidad de la potencia transmitida introducida desde la entrada de RF puede ser enviada a uno u otro de los dos elementos radiantes a los que se encuentra conectado el módulo

ES 2 287 889 T3

TR/RX. Puesto que la circuitería interna del módulo tiene un sistema adecuado de control lógico para la utilización de la función de amplificación tanto en transmisión como en recepción, la totalidad de la señal recibida desde el elemento radiante individual es también transmitida a la unidad transceptora sin degradación.

- 5 Se debe apreciar que el conmutador 4.1 de entrada de RF, al estar posicionado antes que los amplificadores 4.3a y 4.3b MMIC en modo TX, y después que estos amplificadores en modo RX, no tiene que aguantar niveles transitorios altos de potencia de RF, sino solamente los niveles de potencia de la señal, mientras que el diseño de los amplificadores MMIC evita pérdidas de potencia radiada sin tener ningún efecto sobre la sensibilidad del equipo.
- 10 En consecuencia, se reproducen prácticamente todas las características técnicas de la antena de referencia, con un ahorro de al menos el 50% en términos de costes, dimensiones globales y complejidad.

Descripción del módulo TX/RX

- 15 Con referencia a la Figura 5, el módulo TX/RX es un componente integrado multi-funcional, y constituye el componente fundamental de una antena de elementos en fase para sistemas de radar para localización o interferencia intencional.

Las funciones principales del módulo son como sigue:

- 20 1) En modo TX, el módulo amplifica la señal que llega a su entrada hasta un nivel de potencia de salida adecuado, el cual se distribuye secuencialmente a las dos antenas de elementos en fase en respuesta a un comando lógico.
- 2) En modo RX, el módulo amplifica las señales recibidas secuencialmente desde las dos antenas en la banda operativa, mientras que mantiene el circuito en condiciones operativas lineales.
- 25 3) El módulo puede cambiar de fase la señal de RF en ambos modos operativos, en otras palabras, en recepción y en transmisión.

- 30 El módulo consiste en una serie de siete circuitos (chips) monolíticos de microondas de arseniuro de galio, adaptados en tres cápsulas separadas que están interconectadas eléctricamente. La parte de microondas comprende también dos circuladores de ferrita.

- 35 Los elementos individuales están excitados por medio de una tarjeta de control digital que alberga un circuito integrado especial de silicio (ASIC).

La Figura 5 es un diagrama de bloques del módulo. La misma muestra las siguientes funciones:

- 40 5.1a - Conector de entrada de RF.
- 5.1b - Conector de video para alimentación de potencia e intercambio de datos de control digital.
- 5.1c y 5.1d - Conectores de salida de RF.
- 45 5.2 - Chip 1, que alberga las funciones 5.2a, un variador de fase de RF de banda ancha para desfazar la señal transportada de acuerdo con el posicionamiento deseado del haz de antena, y un conmutador 5.2b con una entrada y dos salidas, para la selección entre los canales de transmisión y de recepción.
- 50 5.3 - Chip 2, que comprende un conmutador 5.3a de entrada simple y salida dual, para aislar los canales de transmisión y de recepción cada uno del otro, y un amplificador 5.3b de señal.
- 5.4 - Chip 3, que comprende un amplificador 5.4a de señal, y un atenuador 5.4b controlado digitalmente, para proporcionar un nivel de señal de RF adecuado en todas las condiciones de temperatura operativa.
- 55 5.5 - Chip 6, que comprende un amplificador 5.5a de señal, y un conmutador de entrada única y salida dual, 5.5b, cuya función, junto con la del acoplador 5.5c Lange consiguiente, ha sido descrita con referencia a la Figura 4.
- 5.6 - Chip 7, que comprende dos amplificadores 5.6a y 5.6b de potencia, los cuales han sido también descritos con referencia a la Figura 4.
- 60 5.7a - Acoplador Lange de salida, que también forma parte de las funciones descritas en la Figura 4.
- 5.7b y 5.7c - Circuladores de ferrita de banda ancha utilizados en transmisión para dirigir la señal de RF hacia el elemento radiante considerado, a través de los conectores 5.1c y 5.1d de salida de RF, y utilizados en recepción para canalizar la señal de RF recibida.
- 65 5.8 - Chip 4, insertado en el canal de recepción, y que comprende un conmutador de entrada simple y salida dual, 5.8a, para la selección de la conexión con el elemento radiante considerado, y un amplificador de señal, 5.8b.

ES 2 287 889 T3

5.9 - Chip 5, que comprende un amplificador 5.9a de señal, un atenuador 5.9b controlado digitalmente, y un conmutador 5.9c de entrada simple y salida dual, para aislar los canales de transmisión y de recepción cada uno del otro, en los diferentes modos operativos.

- 5 5.7d - Tarjeta de control, que contiene toda la circuitería analógica y digital para la alimentación y el control de los diversos modos operativos del módulo.

Modos Operativos

10 Los modos operativos del módulo son:

- Modo TX
- Modo RX
- 15 - Modo Standby
- Modo en reposo

20 *Modo TX*

En “modo TX”, en otras palabras, en modo transmisión, la señal presente en el conector 5.1a es amplificada hasta un nivel de potencia requerido, y es dirigida hacia uno de los dos conectores 5.1c y 5.1d de salida, y después hacia la antena de elementos en fase seleccionada.

25 Operando el variador de fase digital incluido en el Chip 1 por medio de controles digitales externos, la fase de la señal de salida puede ser cambiada con respecto a la señal de entrada hasta un máximo de 337,5° por escalones de 22,5°.

30 La potencia de salida puede ser también reducida por medio de una señal de control digital externa, operando el atenuador digital incluido en el Chip 3.

Modo RX

35 En “modo RX”, en otras palabras, en modo recepción, el módulo amplifica la señal recibida desde una de las dos antenas seleccionadas conectadas al módulo a través de los conectores 5.1c y 5.1, y la pone a disposición en el conector 5.1a.

40 Para manejar una amplia gama dinámica de entrada mientras se mantiene el amplificador de recepción en una región lineal, la ganancia del circuito de recepción puede ser controlada por medio del atenuador 5.9b dinámico digital de 40 dB incluido en el Chip 5.

El variador de fase digital, compartido por las trayectorias de transmisión y de recepción, permite así que la fase de salida pueda ser controlada con respecto a la fase de entrada también en este modo.

45 *Modo Standby*

En “modo Standby”, el amplificador final de potencia del canal de transmisión puede ser conmutado a desconexión para minimizar el consumo, mientras que se mantiene operacional el canal de recepción.

50 *Modo de Reposo*

En “modo de Reposo”, los canales TX y RX están ambos desconectados.

55 *Descripción de los circuitos de RF*

Canal de recepción

60 Con referencia ala Figura 5, el canal de recepción ha sido construido a partir de dos circuitos de microondas MMIC monolíticos de arseniuro de galio (Chip 4 y Chip 5).

Ambos circuitos son de tipo multi-función, y están basados en tecnología PHEMT.

65 El Chip 4 consiste en un conmutador de entrada única y salida dual, para la selección de la antena desde la que se va a adquirir la señal de entrada.

El atenuador posterior permite que el nivel de potencia de entrada sea controlado, mientras que la etapa de ganancia de bajo factor de ruido amplifica la señal y la pone a disposición en la entrada del Chip 5.

ES 2 287 889 T3

El Chip 5 incorpora tres amplificadores de microondas distribuidos, y un atenuador digital de tres bits.

Un conmutador de entrada simple y salida dual, ha sido incluido para incrementar el aislamiento entre los canales de RX y TX cuando el módulo está transmitiendo.

Los atenuadores formados en el Chip 5, tienen una fase que se mantiene sin cambio para cualquier nivel de atenuación que pueda ser introducido.

Finalmente, un conmutador de entrada simple y salida dual, habilita o inhabilita la trayectoria de recepción, de acuerdo con un comando digital.

De ese modo, el aislamiento entre las trayectorias de TX y de RX puede ser incrementado, reduciendo la posibilidad de que se inicie alguna oscilación indeseada.

Canal de transmisión

Con referencia al diagrama de bloques del módulo, la función de amplificación en modo transmisión viene proporcionada por el Chip 2, el Chip 3 y el Chip 6.

El Chip 2 consiste en un conmutador de entrada simple, salida dual, y dos etapas amplificadoras distribuidas.

El conmutador 5.3a de entrada única, salida dual, puede ser utilizado para seleccionar el canal TX cuando opera en modo transmisión, y para incrementar el aislamiento entre los canales de transmisión y de recepción en modo recepción.

El Chip 3 consiste en dos etapas amplificadoras distribuidas y un atenuador 5.4b digital de 4 bits.

El Chip 6 actúa como amplificador excitador para el siguiente Chip 7, el amplificador de potencia.

El Chip 6 incluye también un conmutador 5.5b de entrada simple, salida dual, utilizado para dirigir la señal a una de las dos salidas, y permitir por lo tanto que se pueda seleccionar la antena de elementos en fase deseada durante el período requerido, en base a un comando recibido desde la tarjeta de control.

La señal de RF puede ser enviada a través de este conmutador a una u otra de las dos entradas de un acoplador Lange de 3 dB. Cada una de las salidas de este acoplador se ha conectado a un MMIC 5.6a, 5.6b de potencia, ubicado en el Chip 7. Los dos MMICs alimentan otro acoplador 5.7a Lange de 3 dB.

Según se ha mencionado anteriormente, las propiedades eléctricas de esta configuración son tales que la suma de la potencia de RF generada por los dos MMICs del Chip 7 aparece en una u otra de las dos salidas del acoplador Lange final, de acuerdo con la posición del conmutador 5.5b de entrada simple y salida dual del Chip 6, y a continuación es dirigida hacia el elemento radiante de la antena seleccionada.

Se debe apreciar que, sujeta a pérdidas de trayectoria, la potencia global generada por los MMICs de potencia se encuentra disponible en la antena seleccionada, con independencia de cual se haya seleccionado, sin ninguna pérdida de potencia durante la conmutación entre las dos.

El Chip 7, el amplificador de potencia, cuya función ha sido descrita en lo que antecede, que es el elemento final del circuito de transmisión, se hace que opere en saturación para proporcionar la máxima potencia a la antena, y es un MMIC de GaAs del catálogo del fabricante.

Partes de RF comunes

Un variador de fase 5.2a de 4 bits, es compartido entre los circuitos de transmisión y de recepción.

El Chip 1 incluye el variador de fase 5.2a con un intervalo de cuantificación de 22,5°, y un conmutador 5.2b de entrada simple y salida dual, utilizado para seleccionar el canal TX o RX.

Circuito de Control

La circuitería de control está adaptada en el interior de la parte mecánica del módulo.

Ésta tiene la función de proporcionar interfaces eléctricas entre las partes de microondas y el sistema de control del equipo en el que reside el software operativo. También tiene la función de distribuir la alimentación de potencia a los diversos componentes del módulo TX/RX, y la de dirigir los comandos de actuación apropiados para seleccionar los modos operativos.

ES 2 287 889 T3

La circuitería de control debe ser también susceptible de almacenar un cierto número de parámetros operativos, para excitar y alimentar el módulo de una manera adecuada de acuerdo con los modos requeridos.

5 Con el fin de operar bajo el control del software del equipo, la tarjeta de control utiliza un circuito integrado de silicio (ASIC).

Aspectos tecnológicos

10 Si examinamos el módulo TX/RX de acuerdo con la presente invención con mayor detalle, se aprecia claramente que la solución adoptada tiene numerosas características tecnológicas que van a ser descritas brevemente en lo que sigue:

- La posibilidad de alimentar dos antenas o secciones diferentes de elementos en fase.

15 La solución adoptada, que es interna al módulo, no hace uso de conmutadores externos. Como es el caso en la solución convencional, y se asegura que toda la potencia de RF generada se encuentra disponible en cada una de las dos antenas, sin pérdida de ningún porcentaje significativo de la potencia de RF transportada, mientras que dispensa la alimentación de potencia y la circuitería de control que los conmutadores puedan requerir.

20 - Aplicación dual, para ambas antenas de red doble y simple.

La configuración de circuito utilizada, según se muestra en la Figura 4, permite que toda la potencia transportada sea dirigida a, o desde, uno u otro de los conjuntos de elementos radiantes conectados a los conectores de salida, sin pérdida alguna de rendimiento. Es por lo tanto posible utilizar el mismo módulo TX/RX en sistemas de red simple, configurándolo de forma permanente sobre una de las dos salidas.

30 Esto hace que sea innecesario desarrollar, producir y controlar un módulo diferente para la aplicación específica, con evidentes beneficios en términos de logística con respecto a las partes consideradas.

- Nivel de integración de los MMICs

35 Todos los MMICs que se han desarrollado, incorporan un gran número de funciones elementales, eliminando así todos los problemas relacionados con la interconexión y la desigualdad entre los mismos.

- Uso de un circuito integrado controlador (ASIC).

40 El desarrollo de un circuito integrado de aplicación específica (ASIC) ha hecho que sea posible concentrar en un espacio muy pequeño, todas las funciones complejas para excitar y alimentar la circuitería de microondas que habría tenido que ser previamente incorporada en una tarjeta de tamaño considerable, y ha proporcionado también ahorros económicos considerables.

45 - Integración de RF-Video

La disponibilidad de un pequeño circuito integrado ASIC hace que sea posible integrar las funciones de RF y toda la circuitería de baja frecuencia (alimentación y control) en una única cápsula. Esto ha dado lugar a tiempos operativos garantizados más rápidos, inmunidad frente a interferencias externas, la eliminación de conectores y cables de conexión, y una mayor fiabilidad global del sistema.

Efectos económicos

55 Como es evidente a partir de la descripción de circuito del módulo TX/RX, la solución elegida ha proporcionado las siguientes ventajas:

- La complejidad de la circuitería asociada al requisito de conmutar la señal de RF entre dos antenas, se ha reducido.

60 - Las pérdidas correspondientes se han eliminado.

- Solamente se utiliza el 50% de los módulos requeridos para alimentar las dos antenas, mientras que se mantiene el mismo rendimiento.

65 En relación con la tecnología utilizada, el uso de circuitos MMIC de GaAs ha reducido el número de componentes de microondas de la solución híbrida, los cuales exceden de veinte, frente a solamente siete chips MMIC.

Los MMICs se realizan de forma automatizada sobre sustratos de GaAs.

ES 2 287 889 T3

La ventaja de esta tecnología consiste en que, durante la fabricación de los módulos TX/RX, se eliminan todas las etapas de ajuste y calibración en relación con los componentes individuales de los circuitos, puesto que el proceso de construcción de chips MMIC es altamente repetitivo.

5 Además, el número de conexiones soldadas entre los diversos elementos del circuito, se ha reducido, y ha hecho que sea posible montar los módulos TX/RX por medio de máquinas industriales automáticas.

Los problemas relacionados con la operación manual se reducen al mínimo debido a la reducida intervención de operadores humanos.

10

Todos estos factores han hecho que sea posible reducir los costes de producción de un módulo TX/RX simple basado en chips de GaAs en una cantidad comprendida en la gama de un tercio a un cuarto del coste de un módulo equivalente realizado a partir de componentes discretos, con un ahorro considerable en cuanto a tiempo de producción. El uso de la configuración con dos salidas ha hecho que sea posible dividir a la mitad el número de módulos que son necesarios para excitar antenas de elementos en fase de sección múltiple, reduciendo con ello el coste de una antena que con frecuencia es la parte más cara del equipo, en un factor comprendido en la gama de 6 a 8.

15

Estos factores tienen un efecto directo y altamente positivo sobre el coste del sistema de radar en su totalidad, puesto que, según se ha mencionado anteriormente, la nueva generación de equipos requiere el uso de miles de módulos TX/RX.

20

Puesto que las antenas de elementos en fase representan una de las partes más significativas del valor del equipo, la reducción del coste de las antenas hace que sea posible conseguir una posición preeminente en el mercado altamente competitivo para sistemas de radar, y también penetrar en áreas de mercado que no se habían considerado previamente.

25

El tipo de solución tecnológica utilizada no se limita a las aplicaciones de las que se han proporcionado ejemplos en lo que antecede, sino que pueden ser aplicadas a otros campos de la técnica y/o a nuevos sistemas de microondas.

En particular, los módulos TX/RX de acuerdo con la presente invención, son adecuados para una amplia gama de aplicaciones en sistemas de radar, en los que existe una tendencia hacia soluciones de banda ancha que utilizan antenas de elementos en fase con múltiples secciones.

30

Adicionalmente, en el caso de las antenas multi-propósito en sistemas de microondas, existe una necesidad operativa en los sistemas de próxima generación, incluyendo los sistemas de radar y otros sistemas, para compartir las mismas antenas de elementos en fase entre equipos pertenecientes a diferentes categorías y que tengan diferentes requisitos operativos.

35

Finalmente, un área adicional de desarrollo del equipo al que se refiere la presente invención, está asociada a los nuevos sistemas de comunicación de punto-a-punto, multipunto, Internet de banda ancha, satélite y tipos similares.

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

5 1. Un módulo transceptor dual que opera en banda ancha a frecuencias de microondas, para antenas configurables de elementos en fase, para su aplicación tanto a antenas (3.4a, 3.4b) de red simple como doble, y que incluye un
circuito de radiofrecuencia que comprende un conmutador (4.1, 4c.1, 5.5b) de entrada simple y salida dual, que excita un
acoplador Lange (4.2a, 4c.2, 5.5c), cuyas dos salidas están conectadas a dos amplificadores (4.3a, 4.3b, 5.ba, 5.bb)
de microondas cuyas salidas están acopladas por medio de otro acoplador Lange (4.2b, 5.7a), incorporando el módulo
10 transceptor dual circuitería digital y analógica para controlar sus modos operativos; estando el citado otro acoplador
Lange diseñado para suministrar energía a frecuencia de microondas a un primer y un segundo conjuntos o partes de
una antena de elementos en fase, a través de un primer y un segundo circuladores (5.7b, 5.7c) diseñados para dirigir las
señales recibidas en recepción desde el primer y segundo conjuntos o partes de la antena de elementos en fase hacia
un circuito de recepción.

15 2. Una antena de elementos en fase, que comprende elementos radiantes diseñados para ser excitados tanto en
transmisión como en recepción por medio de un módulo transceptor dual como el reivindicado en la reivindicación 1.

20 3. La antena de elementos en fase según se reivindica en la reivindicación 2, que se **caracteriza** porque consiste
en dos semi-antenas con diferentes orientaciones geométricas, con el fin de proporcionar una mejor cobertura que la
alcanzable con un conjunto simple de elementos radiantes.

25 4. La antena de elementos en fase según se reivindica en una cualquiera o más de las reivindicaciones 2 a 3, que se
caracteriza porque los módulos transceptores duales están fabricados a partir de circuitos integrados monolíticos de
microondas MMICs, de arseniuro de galio GaAs.

30 5. La antena de elementos en fase según se reivindica en una cualquiera o más de las reivindicaciones anteriores,
que se **caracteriza** porque el módulo transceptor dual incluye un circuito ASIC para controlar las funciones localizadas
en el interior de los módulos transceptores.

35

40

45

50

55

60

65

70

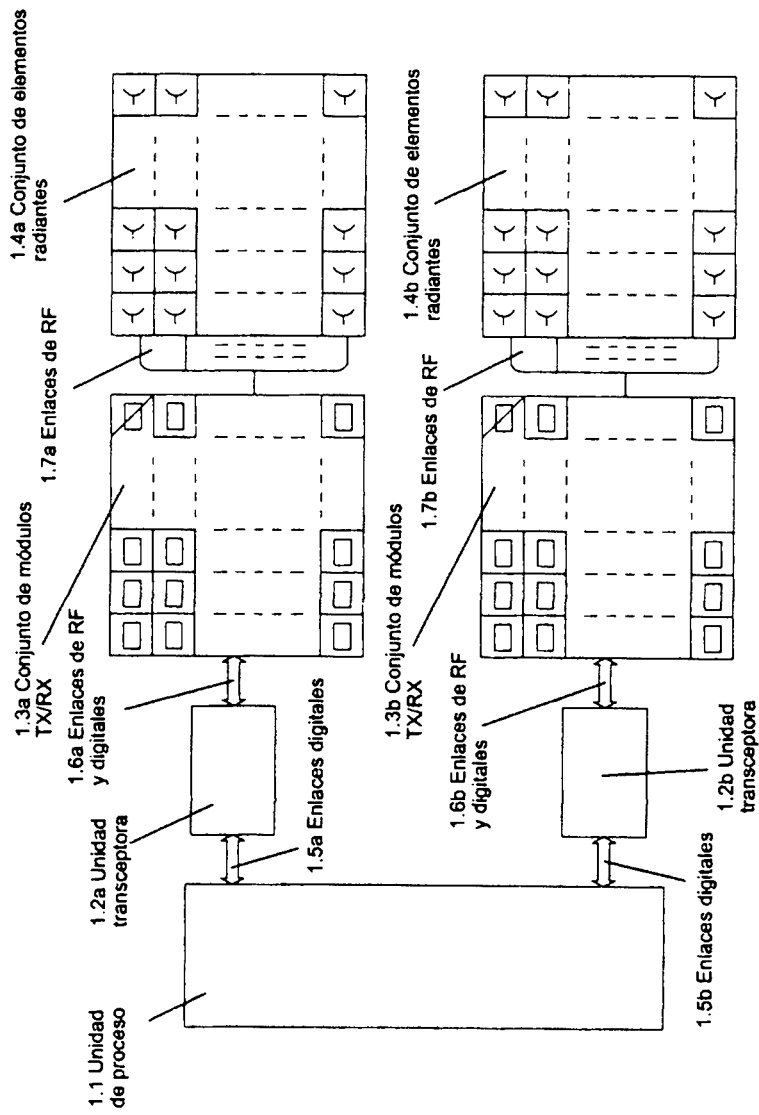


FIG. 1

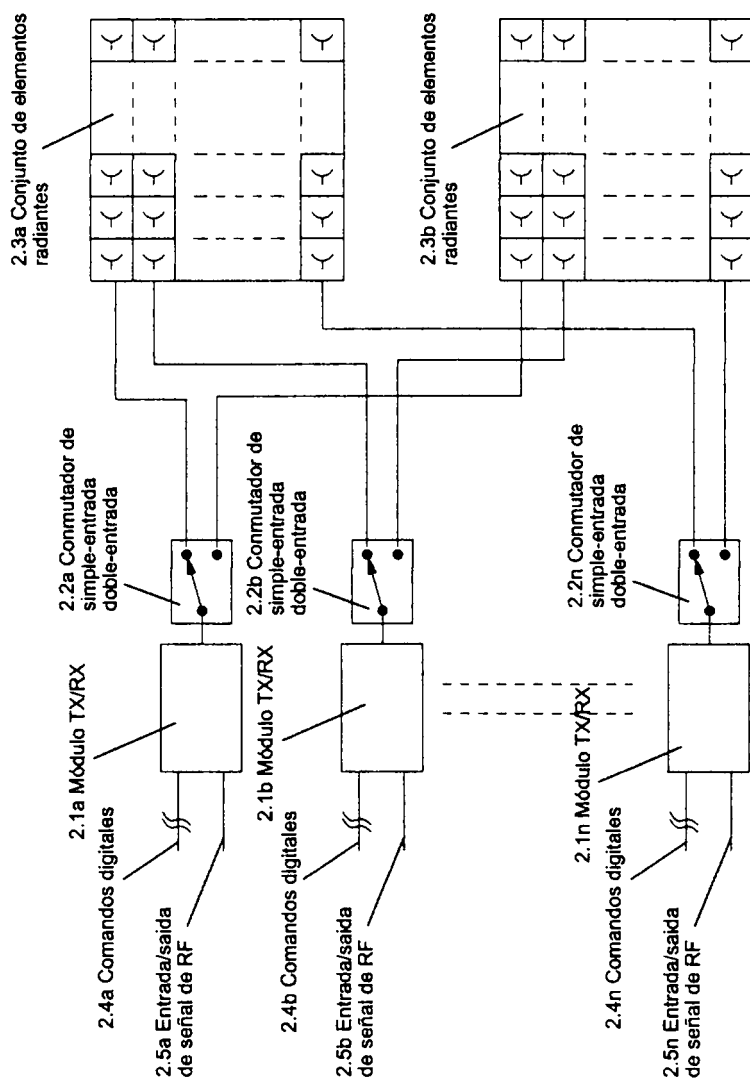


FIG. 2

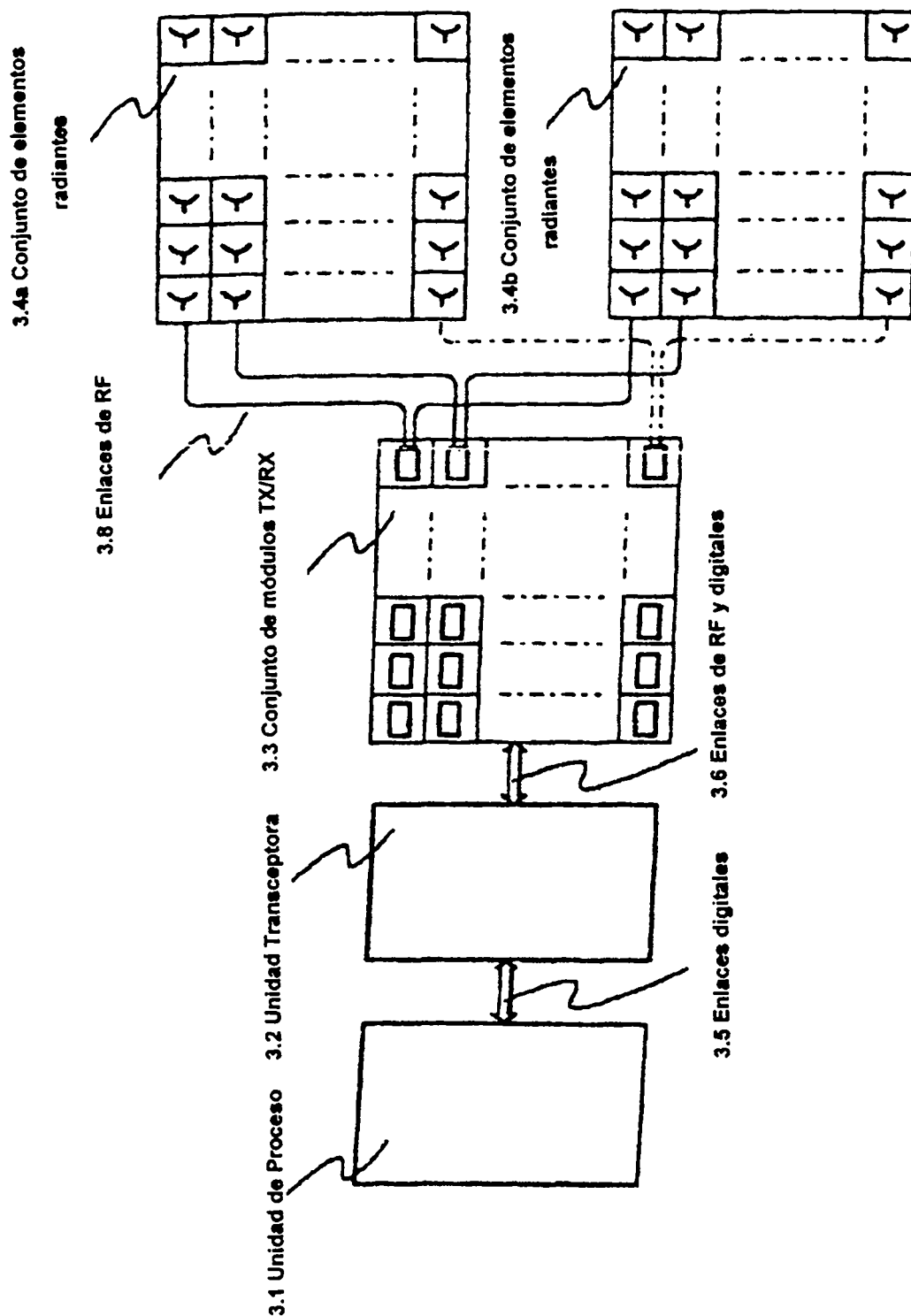


Fig. 3

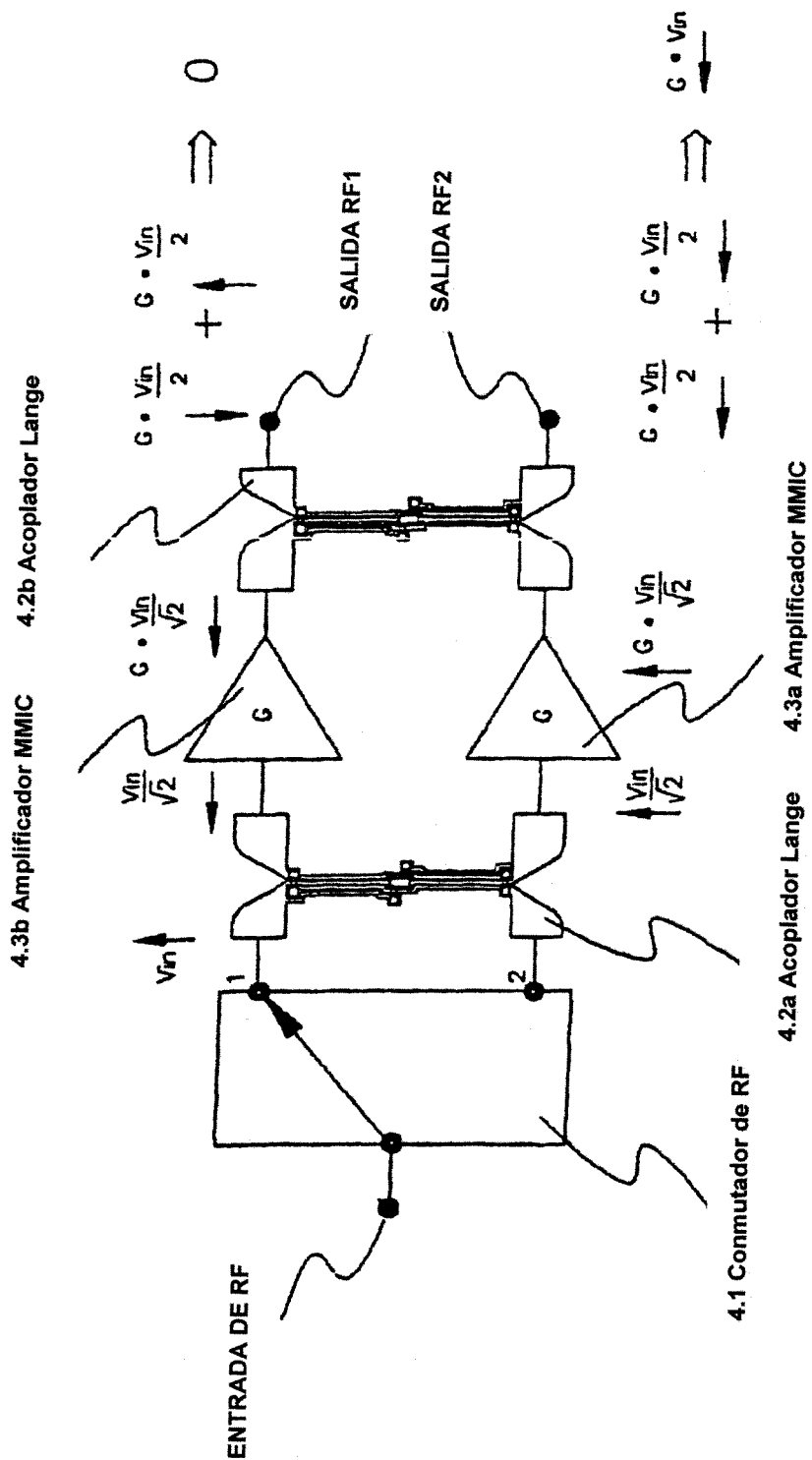


Fig. 4

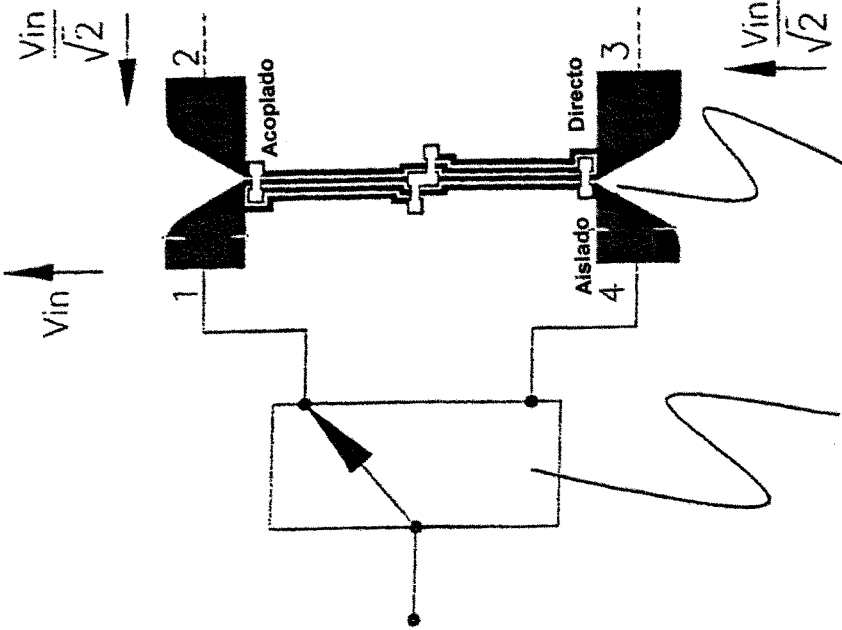


Fig. 4 a

4c.1 Conmutador de RF 4c.2 Acoplador Lange

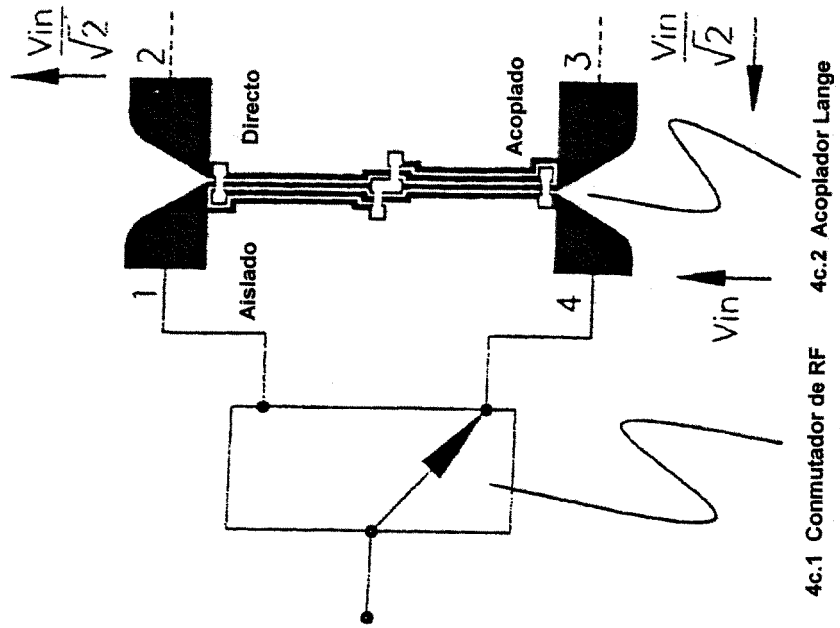


Fig. 4 b

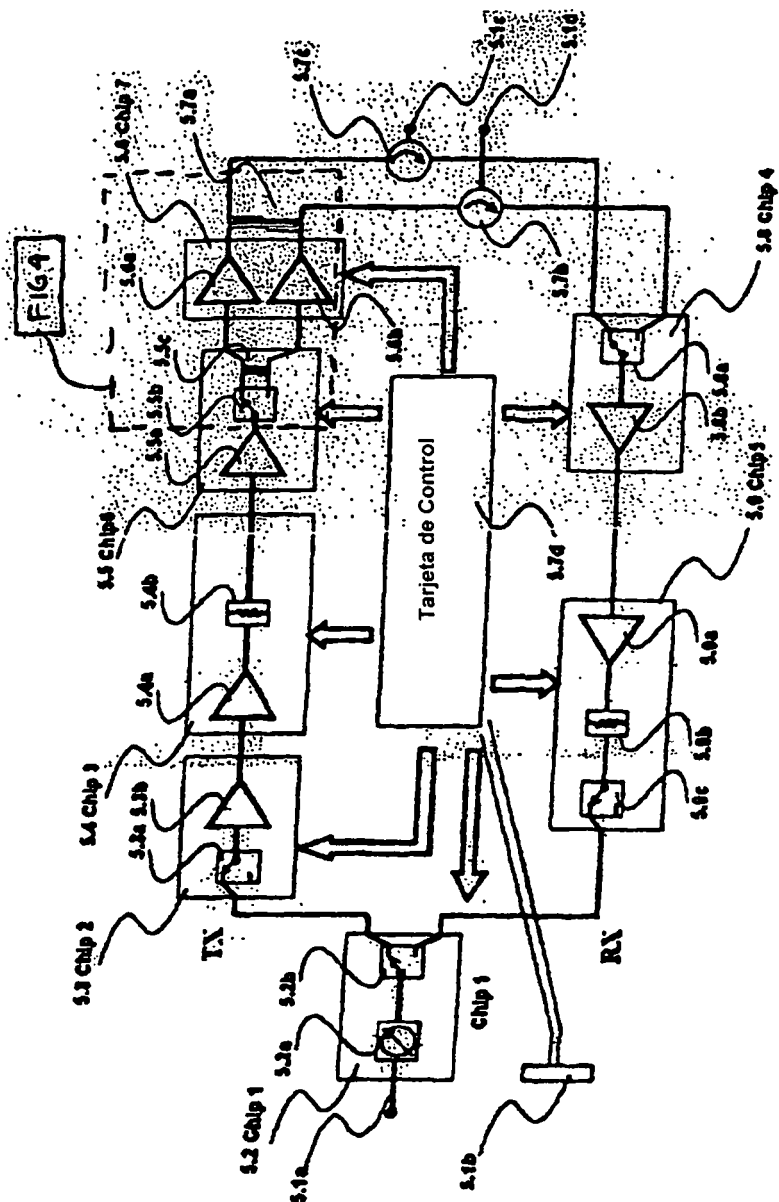


Fig. 5