

443.922

29 DIC. 1975

P.- 61.783

294-014-2

Int. Cl.: H 015

MEMORIA DESCRIPTIVA

para solicitar PATENTE DE INVENCION

a nombre de NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION

entidad norteamericana

con domicilio en Washington, D.C. 20546., Estados Unidos de America.

por: "UN MASER DE ONDA PROGRESIVA EN DOS SENTIDOS"

17.12.75

La presente invención se refiere en general a amplificadores de maser. Más en particular, la presente invención tiene que ver con un maser de ondas reflejadas que hace uso de estructuras de onda lenta o de retardo que operan en un campo magnético no uniforme.

El uso de los maseres como amplificadores de bajo nivel de ruidos es ya bien conocido. En la bibliografía técnica y en muchas patentes de EE.UU. se describen maseres de ondas progresivas en los que se hace uso de estructuras de onda lenta con material activo de maser (para obtener amplificación) y con material de ferrita (para obtener aislamiento o separación). Como ejemplos de patentes de EE.UU. que describen la tecnología de los maseres ya conocida se citan las de los números 3.214.701; 3.296.541; 3.299.364; 3.486.123; y 3.676.787.

Tradicionalmente, los amplificadores de maser presentan muy bajas temperaturas de ruido y una reducida anchura de banda. La anchura de banda instantánea de un maser viene determinada principalmente por la anchura de línea resonante del material del maser. La anchura de banda de media potencia ( $\Delta f$ ) de un maser de onda progresiva (TWM) que opera en un campo magnético uniforme es:

$$\Delta f = \Delta f_L (3/G_{dB}(f_o)^{-3})^{\frac{1}{2}}, \quad (I)$$

donde  $\Delta f_L$  es la anchura de banda de la línea de resonancia magnética del material de maser activo, y  $G_{dB}(f_0)$  es la ganancia de potencia, en decibelios, a la frecuencia de resonancia magnética.

5 La ecuación (1) que antecede, y un estudio completo de los métodos de la técnica ya conocida para aumentar la anchura de banda de un maser de onda progresiva, pueden encontrarse en la obra "Masers de estado sólido en microondas", de A. E. Siegman, editada por McGraw-Hill  
10 en 1964 y que tiene el número de ficha 63-12131 del catálogo de la Biblioteca del Congreso de EE.UU., llamándose la atención en particular respecto a las páginas 315 y 326 a 331.

15 El aumento de la anchura de banda en un maser de onda progresiva, sean cuales fueren los métodos que se utilicen, origina siempre una sustancial reducción de ganancia. Como la sensibilidad (la temperatura de ruido de entrada equivalente) de un maser de onda progresiva está relacionada con la razón o cociente del coeficiente de pérdidas para la estructura de onda lenta respecto al coeficiente de ganancia, la sensibilidad o temperatura de ruido de un maser de onda progresiva puede verse gravemente deteriorada por los intentos de ensanchar la banda.  
20

25 Hablando en términos generales, los maseres de onda progresiva de la técnica ya conocida que obtienen

características de funcionamiento adecuadas para su uso en la práctica, presentan los siguientes requisitos, rasgos característicos y/o limitaciones:

- 5
- 1) Los maseres de onda progresiva deben hacerse funcionar a temperaturas criogénicas. Suele ser adecuado un enfriamiento a una temperatura comprendida entre 4 y 5 Kelvin; algunos maseres deben hacerse funcionar forzosamente a temperaturas inferiores a 2 Kelvin para obtener resultados satisfactorios.
- 10
- 2) Se requiere un campo magnético. Este campo debe ser uniforme dentro de  $\pm 0,002$  tesla ( $\pm 20$  gaussios) y de una intensidad determinada por la frecuencia deseada, el material del maser, y la orientación del campo respecto a los ejes cristalográficos del material del maser.
- 15
- 3) Es preciso usar una o más fuentes de energía de bombeo para producir una inversión de la población en el sistema de niveles energéticos del material del maser. Entre las fuentes usadas se incluyen como tipo los klistrones, los osciladores de onda regresiva o de retorno, los diodos "Gunn" y los dispositivos
- 20
- 25
- "Impatt".

5

4) Es preciso usar una estructura de onda lenta de algún tipo, para obtener un tiempo de interacción suficientemente largo entre la señal que se vaya a amplificar y el material activo del maser. La amplificación aumenta exponencialmente respecto a la longitud o distancia recorrida en una estructura de onda lenta.

10

5) Las estructuras de onda lenta de elevados factores de retardo o deceleración, para producir una elevada ganancia, tienen inherentemente un paso de banda estrecho o son físicamente muy largas. El paso de banda de la estructura de onda lenta limita la gama de sintonía del maser, pero suele ser mucho más ancho que la anchura de banda instantánea del maser.

15

El funcionamiento de las maseras de la técnica ya conocida ha sido descrito ya en la bibliografía técnica. En la tabla de la figura 1 se da un resumen de las características importantes de los sistemas de maser de la técnica ya conocida. Los números de referencia que se citan en la columna encabezada "REF" de la tabla se refieren a las publicaciones siguientes:

20

25

(I) E.L. Kollberg, "A Traveling-Wave Maser System for Radio Astronomy" ("Un sistema de maser de

onda progresiva para radioastronomía"), Proceedings of the IEEE, vol. 61, nº. 9, págs. 1323-1329, Sept. 1973.

5

(II) M. S. Reid y col., "Low Noise Microwave Receiving Systems in a Worldwide Network of Large Antennas" ("Sistemas de recepción de microondas de bajo nivel de ruido en una red mundial de antenas grandes"), Proceedings of the IEEE, vol. 61, nº. 9, páginas 1330-1335, Sept. 1973.

10

(III) W. J. Tabor, "A 100-Mc Broad-Band Ruby Traveling-Wave Maser at 5 Gc" ("Un maser de onda progresiva de rubí, de 100 MHz de anchura de banda a 5 GHz"), Proceedings of the IEEE, vol. 51, nº. 8, pág. 1143, Agosto 1963.

15

(IV) V. I. Zagatin y col., "Radiometer for Spectral Measurements in the 8-mm Range with a Quantum Paramagnetic Amplifier" ("Instrumento para mediciones de espectro en la gama de 8 mm con un amplificador paramagnético de cuantos"), Instruments and Experimental Techniques, págs. 1137-1140, Oct. 1968.

20

(V) F. R. Arams y B. J. Peyton, "Eight-Millimeter Traveling-Wave Maser and Maser-Radiometer System" ("Maser de onda progresiva de 8 mm y sis-

25

tema de maser y radiómetro"), Proceedings of the IEEE, vol. 53, nº. 1, págs. 12-23. Enero 1965.

5 A pesar del considerable esfuerzo realizado en el área de los maseres, no se ha satisfecho, hasta la presente invención, la necesidad sentida de un amplificador de maser de bajo nivel de ruido con amplia anchura de banda instantánea (de varios centenares de megahertzios) y de elevada ganancia neta.

10 Es, pues, objeto de esta invención un maser de onda reflejada de dos direcciones o sentidos que presenta una ganancia neta mayor y una anchura de banda instantánea más ancha de lo posible con los maseres de onda progresiva de la técnica ya conocida que tiene doble longitud de material activo de maser.

15 Otro objeto de esta invención reside en un maser de onda reflejada que presenta cualidades de bajo nivel de ruido en toda una anchura de banda excepcionalmente ancha y es comparable en funcionamiento, respecto al ruido, a los maseres de anchura de banda reducida de la técnica ya conocida.

20 Estos objetos y los fines generales de la presente invención se consiguen mediante la acción de reflejar una onda progresiva haciéndola retroceder a través de una estructura de onda lenta, duplicando efectivamente su lon-

gitud al propio tiempo que se mantiene la estructura de  
onda lenta en un campo magnético no uniforme con el fin  
de aumentar la anchura de línea del material activo de  
maser. Les señales que se van a amplificar son dirigidas  
5 por medio de un circulador a la estructura de onda lenta  
del tipo de reflexión, y también desde ésta después de  
la amplificación. La disposición en cascada de estas es-  
estructuras de onda lenta del tipo de reflexión acrecienta  
la ganancia total. Entre los circuladores de cada paso o  
10 etapa se usan unos separadores o seccionadores para impe-  
dir que las señales se propaguen desde las etapas o pasos  
de salida a la de entrada, produciendo una realimentación  
o retroacción.

La naturaleza exacta de la presente invención,  
15 así como otros objetos y ventajas de la misma, se irán  
desprendiendo fácilmente del estudio de la Memoria des-  
criptiva que sigue en relación con los dibujos adjuntos,  
en los que se designan con los mismos números de referen-  
cia las partes que se asemejan en las distintas figuras  
20 de los mismos, y en los cuales:

- la figura 1 es un esquema funcional ilustrati-  
vo de un amplificador de maser de varios pasos, conforme  
a la presente invención;

- la figura 2 es un esquema funcional ilustra-  
25 tivo de un dispositivo circulador múltiple, convenientemen-

te utilizable con el amplificador de maser de la presente invención;

5 - la figura 3 es una vista en perspectiva, con partes desprendidas, de una guía de ondas que contiene una estructura de maser de onda lenta;

- la figura 4 es una sección fragmentaria que ilustra en vista lateral el amplificador de maser de la figura 3;

10 - la figura 5 es un esquema funcional que ilustra un mecanismo para crear un campo magnético no uniforme;

- la figura 6 es un esquema funcional que ilustra una variante de mecanismo para crear un campo magnético no uniforme;

15 - la figura 7 es una gráfica ilustrativa de la respuesta de frecuencia de un solo paso del maser de la presente invención, a 4,4 K; y

20 - la figura 8 es una gráfica que ilustra la respuesta de frecuencia de un solo paso del maser del presente invento, a 1,9 K.

En la siguiente Tabla I se indican las características de diversos maseres de la técnica ya conocida.

TABLA I

Características de los sistemas de maser ya conocidos

5	Gama de sintonía (GHz)	Gainancia tipo ne ta (dB)	Anchura de ban- da (MHz)	Temp. de ruido °K	Temp. de re frig. °K	Material activo	Ref.
	0,96-1,13	30	3,5	4,0	2,0	Rutilo impu rificado con Cr.	I
	1,7 -1,9	32	4,5	4,0	4,5	"	I
10	2,26-2,31	45	45	4,2	4,5	Rubí	II
	2,24-2,24	40	16	4,2	4,5	Rubí	II
	3,1 -3,6	30	12	6,0	2,0	Rutilo impu rificado con Cr.	I
	5,0 - 5,1	29	100	no se sabe	4,2	Rubí	III
15	5,25-6,1	24	20	8,0	4,2	Rutilo impu rificado con Cr.	I
	7,5- 8,2	25	20	no se sabe	1,7	"	I
	7,6- 8,9	40	17	7,0	4,5	Rubí	II
	14,3-16,3	40	17	8,5	4,5	Rubí	II
20	36,5-37,5	25	20	40	4,2	Rubí	IV
	35,4-40	20	75	20	1,7	Rutilo im- purificado con Cr.	V

Un amplificador de maser 11 de onda reflejada de varios pasos (figura 1), que presenta características de amplia anchura de banda instantánea, del orden de los 300 MHz, con una ganancia total de aproximadamente 45 dB, tiene como elemento básico una estructura bidireccional de onda lenta.

El primer paso del amplificador de maser 11 comprende un circulador 15 de tres lumbreras conectado a una guía de ondas 17 en la que hay una estructura 21 de onda lenta. A la lumbrera de entrada 13 del circulador 15 número 1 se aplica una señal 25 de microondas que se va a amplificar, y el circulador encamina la señal de entrada al interior de la estructura 21 de onda lenta, en el sentido indicado por la flecha 27. La estructura de onda lenta 21 se ilustra realizada en forma de cristal de rubí que llena por completo una parte de la guía de ondas 17. La convergencia 19 del cristal de rubí se ajusta de modo que adapte la impedancia de la guía de ondas 17 a la estructura de onda lenta 21. La señal de microondas recorre la estructura 21 de onda lenta y es amplificada a consecuencia de la acción de maser.

En el otro extremo 23 de la estructura 21 de onda lenta, la onda progresiva 29 es reflejada y regresa recorriendo la estructura de onda lenta 21. Este segundo recorrido hace que la señal se amplifique por segun-

da vez. Para comprender mejor la significación de lo que acaba de decirse, considérese lo siguiente: La potencia en una onda que se propaga recorriendo una estructura de onda lenta en un maser aumenta, con la distancia (Z) recorrida, con arreglo a la función  $e^{2\alpha mZ}$ , en la que  $\alpha m$  es el coeficiente de ganancia. La reflexión de la onda amplificada, por la que ésta recorre la estructura por segunda vez, acrecienta la ganancia de potencia con arreglo a la función  $e^{2\alpha m2Z}$ . La longitud (2Z) de la estructura, así efectivamente duplicada, aparece en el exponente de  $e$ , y de ello se sigue que el factor de amplificación (de potencia) de un maser de onda reflejada está elevado al cuadrado con respecto al factor de amplificación de un maser usual de onda progresiva. Los siguientes ejemplos se dan con el propósito de aclarar y dar realce a la mejora así introducida:

1) Una estructura de onda lenta (de longitud fija) amplifica una onda, que se propaga recorriendo la estructura, multiplicándola por un factor de 10 (10dB). La reflexión de esta onda da origen a un segundo recorrido, que amplifica la onda por segunda vez, multiplicando por 10 el primer factor de amplificación de 10. Se logra, pues, un factor de amplificación total de 100 (20 dB).

2) Cuando se usan dos pasos, cada uno de un factor de ganancia de 10 en una sola pasada, la ganancia

total conseguida por el maser de onda reflejada es de 10.000 ( $10^4$ , o sea 40 dB).

5 La reflexión de la onda progresiva se produce debido a la falta de adaptación de impedancias entre el extremo 23 de la guía de ondas de "hombeo" del primer paso y la estructura de onda lenta 21. Es éste un fenómeno ya conocido en la técnica del ramo. La señal de microondas 31 amplificada dos veces entra en el circula-  
10 dor 15 número 1, donde es encaminada a la guía de ondas 35 de salida. Esta guía de ondas de salida está conectada a un separador 37 unidireccional, que puede ser, por ejemplo, del tipo de ferrita. Este separador acopla la energía de salida que viene del circulator 15 número 1 al circulator 43 del segundo paso.

15 El circulator 43 número 2 recibe su señal de entrada 41 y la encamina o dirige a la guía de ondas 45 del maser, en el sentido indicado por la flecha 55. La energía recorre la estructura de onda lenta 49 que puede ser idéntica a la estructura de onda lenta 21 del  
20 primer paso. La configuración convergente 47 del rubí utilizado en la estructura de onda lenta tiene aquí también por objeto el de adaptar en impedancia la guía de ondas 45 a la estructura 49 de onda lenta. La onda progresiva, al llegar al otro extremo 51 de la estructura  
25 de onda lenta 49 de segunda etapa, es reflejada en el

sentido indicado por la flecha 53. Como consecuencia, re-  
gresa propagándose en retroceso por la estructura de on-  
da lenta 49 y vuelve a ser amplificada. La señal 57 que  
entra en el circulador 43 número 2 del segundo paso o  
5 etapa ha sido entonces amplificada cuatro veces (la ga-  
nancia de un paso elevada a la cuarta potencia) respecto  
a la señal de entrada 25, recibida por el circulador 15  
número 1. El circulador 43 número 2 encamina esta señal  
a su guía de ondas de salida 59, que puede estar acopla-  
10 da, por medio de un separador unidireccional (no repre-  
sentado), a un paso similar sucesivo.

El tercer paso o etapa del amplificador 11 de  
maser, al que se llega por medio de la línea 60 represen-  
tada con trazo interrumpido, se da con la intención de  
15 ilustrar un número cualquiera conveniente de sucesivos  
pasos o etapas. El número de pasos que se utilice vendrá  
determinado por la característica de ganancia en función  
de anchura de banda, deseada para el amplificador total  
11 de maser. El paso final recibirá una señal de entrada  
20 61 por su circulador 63 número N. Esta señal es encamina-  
da a la guía de ondas 65 y la estructura de onda lenta  
69, y amplificada. En el otro extremo 75 de la estructu-  
ra de onda lenta 69, la señal 71 es reflejada, volviendo  
por la estructura de onda lenta 69 y entrando otra vez  
25 en el circulador 63 número N. La señal 73 entrante en el

circulador 63 número N ha sido amplificada en un factor  
igual al doble del número de pasos o etapas del amplifi-  
cador total (la ganancia de un solo paso elevada a la  
potencia  $2N$ ). El circulador 63 número N encamina esta  
5 señal a su guía de ondas de salida 79, que está conecta-  
da a un dispositivo de utilización (no representado).

El material de maser utilizado en las estructu-  
ras de onda lenta de los pasos o etapas del amplificador  
de maser 11 puede ser cristal de rubí, u otro material  
10 de maser adecuado cualquiera. En el caso de la utiliza-  
ción del rubí como material de maser, la estructura de  
onda lenta del amplificador de maser 11 se refrigera  
aproximadamente a 4,5 K.

A los pasos del amplificador 11 de maser se  
15 puede conectar una fuente apropiada de energía de bom-  
beo 81, por el extremo de las guías de ondas correspon-  
dientes que hace que la onda de energía progresiva se  
refleje recorriendo la estructura de onda lenta. Esto  
no representa en modo alguno la única manera de acoplar  
20 energía de bombeo a un mecanismo de maser de onda pro-  
gresiva. Se sobrentiende también que no es preciso usar  
necesariamente una sola fuente de energía de bombeo. Ca-  
da paso del amplificador de maser 11 de varios pasos o  
etapas puede tener su propia fuente de energía de bombeo.  
25 O bien varios pasos pueden compartir una misma fuente

de energía de bombeo.

Un imán superconductor o de Alnico, por ejemplo, que tenga un polo norte 83 y un polo sur 85 situados a lados opuestos del amplificador de maser 11 de varios pasos, suministra el campo magnético para el amplificador de maser. Las caras polares del imán 83, 85 se representan sesgadas una respecto a la otra. Esto hace que el campo magnético 87 ... 89 no sea uniforme de un lado a otro de las estructuras de onda lenta 21, 49, 69 de los pasos o etapas del amplificador de maser. El grado de no uniformidad del campo magnético 87 ... 89 de un lado a otro de la estructura de onda lenta de los diversos pasos determina el grado de anchura de banda instantánea y ganancia de cada paso.

Recientemente ha salido al mercado un nuevo circulator 91 (figura 2) de banda ancha, de varias uniones y criogénicamente refrigerable. Este circulator particular 91 es singularmente idóneo para su uso con un amplificador de maser de onda reflejada, de dos etapas, del tipo ilustrado en la figura 1. Si se usan dos de estos circuladores, es posible realizar entonces un amplificador de maser de cuatro pasos o etapas, y así sucesivamente. El circulator 91 resulta singularmente adecuado para la aplicación indicada por tener muy baja pérdida de inserción cuando está enfriado a 4,5 Kelvin. Con este

mecanismo circulador es posible operar en una amplia anchura de banda, por obtenerse una gran separación en toda una anchura de banda de 700 MHz.

El circulador 91 tiene un elemento conector  
5 de entrada 93, que acopla la señal que se vaya a amplificar, desde un dispositivo tal como una antena, por ejemplo, a la primera unión 98 del circulador, por medio de una lumbrera de entrada 97. Las flechas representadas en esta unión indican el sentido de la señal de  
10 baja pérdida. Así, una señal entrante por la lumbrera 97 se dirigiría a la lumbrera 99 y al primer paso del amplificador 11 de maser por medio de un conector 119. La señal reflejada procedente del primer paso amplificador entra en la unión 98 del circulador por la lumbrera  
15 99 y se dirige a la lumbrera de salida 101 que está acoplada a la segunda unión 102 del circulador. Esta unión del circulador se halla dispuesta en forma de separador unidireccional, teniendo para ello una sola lumbrera 103 terminada por un elemento de carga 105. La  
20 señal presente en la lumbrera de entrada 101, por lo tanto, se dirigirá a la lumbrera de salida 107 que está conectada a la tercera unión 108 del circulador. La señal presente en la lumbrera de salida 107 se dirigirá al segundo paso del amplificador de maser 11 (figura 1) a  
25 través de la unión 108 del circulador, la lumbrera de

salida 109 y el elemento conector 121. La señal refle-  
jada desde el amplificador será recibida por la lumbrera  
109 y dirigida a la lumbrera de salida 111, que está  
acoplada a la cuarta unión 112 del circulador. Esta unión  
5 del circulador está también dispuesta para funcionar como  
separador unidireccional, teniendo para ello su lumbrera  
113 terminada por un elemento de carga 115. La señal pre-  
sente en la lumbrera de entrada 111 será dirigida a la  
lumbrera de salida 117 y al elemento conector 95 de  
10 salida, que va conectado a un dispositivo de utilización,  
no representado.

En lugar de la estructura de onda lenta ilus-  
trada en la figura 1 puede utilizarse una estructura de  
onda lenta del tipo de "peine". En la figura 3 se repre-  
15 senta una estructura de onda lenta de dos pasos o etapas,  
del tipo de peine para un amplificador de maser, que pre-  
senta una amplia anchura de banda y una elevada ganancia.  
Hay una guía de ondas 123 dividida a lo largo de su eje  
longitudinal por una pared 137. Esto facilita la coloca-  
20 ción de dos estructuras de onda lenta dentro de la guía  
de ondas 123. El primer paso de amplificación comprende  
una pluralidad de "púas" o dedos metálicos 143, con pas-  
tillas o barras de material de maser 139, 141 colocadas  
a uno y otro lado de los dedos metálicos. Un dispositivo  
25 145 de carga de resorte mantiene en posición las pesti-

5 llas de material de maser contra los dedos metálicos y la base de la guía de ondas 123. El lado 141 de los dedos metálicos no contiene separadores de ferrita, como es corriente en los maseres unidireccionales de la técnica ya conocida. Una señal acoplada a la guía de ondas 123 se propaga siguiendo el eje longitudinal de ésta, es reflejada en el otro extremo 146 por una inadaptación de impedancias y regrese propagándose hasta el primer extremo 125.

10 El mecanismo circulador 91 de la figura 2 podría utilizarse en combinación con la estructura de maser de la figura 3, con el fin de obtener un amplificador de varios pasos o etapas. El elemento conector 119 (figura 2) estaría conectado al primer paso de la guía de ondas 123. El acoplador 121 estaría conectado al segundo paso de la guía de ondas 123.

15 El amplificador de maser de segundo paso en la guía de ondas 123, por el lado opuesto de la pared común 137, al igual que el primer paso, tiene una pluralidad de dedos metálicos 131 con unas pastillas de material de maser 127, 129 en cada lado de dichos dedos. Un dispositivo 135 de carga de resorte mantiene las pastillas de material en estrecho contacto con los dedos metálicos y con la base de la guía de ondas 123. Es de 20 notar aquí también que el lado 127 de este segundo paso 25

no hace uso de separadores o aisladores de ferrita, permitiendo así que la señal de entrada se propague a lo largo del eje longitudinal, sea reflejada por una inadaptación de impedancias en el otro extremo 146 y se  
5 propague en retroceso o regrese, duplicando en efecto la longitud del amplificador.

La ganancia electrónica (dB) disponible por paso o etapa en la estructura de onda reflejada viene dada por la expresión:

10

$$G = 2(27,3 S N F)/Q_m,$$

en la que G es la ganancia en dB,

S es el factor retardador,

15

N es la longitud de estructura, en longitudes de onda de espacio libre,

F es el factor de relleno, y

$Q_m$  es el Q magnético del material de maser.

20

En el libro de A. E. Siegman arriba citado, págs. 331 - 341, puede verse un análisis detallado del factor retardador y de los métodos de medida. El factor de relleno viene definido y estudiado en las páginas 198, 254, 264 y 322 del mismo texto.

25

La ganancia electrónica (dB) para un maser de un solo sentido, de la técnica ya conocida, viene dada por la expresión:

$$G = 27,3 \text{ dB} / \text{cm}.$$

La ganancia neta para cada paso viene reducida por las pérdidas existentes en la estructura de onda lenta. Un  
5 áreas principal de pérdidas en un maser de un solo sentido o dirección es el conjunto de separador o aislador de ferrita contenido en la estructura de onda lenta. Como el maser bidireccional de la presente invención no utiliza tales aisladores o separadores de ferrita, la ganancia neta por paso será tanto mayor.  
10

Con el fin de impedir que cada paso oscile, el conector de entrada y el circulator 91 (figura 1) y la estructura de onda lenta deben estar bien adaptados, y la ganancia por paso debe mantenerse a un valor moderado, por medio del campo magnético no uniforme, como  
15 arriba se ha dicho.

En lugar de usar la guía de ondas 17 de la figura 1 para acoplar las señales de entrada y salida del maser de esta invención, las señales pueden acoplarse desde el circulator a la estructura de onda lenta por  
20 medio de cables coaxiales. Al lado o costado de la guía de ondas 147 (figura 4), en el punto 149, por ejemplo, puede fijarse un cable coaxial que lleva una señal para amplificar. El conductor interior del cable coaxial 151  
25 se curva luego en bucle, en estrecha proximidad con el

primer dedo de la estructura 157 del tipo de peine y se  
suelta a la base 153 de dicha estructura. El material de  
maser 155 se halla situado a ambos lados de la estructu-  
ra del tipo de peine. En esta disposición, la energía  
5 de bombeo puede venir suministrada de uno de los extre-  
mos de la guía de ondas, en el sentido indicado por la  
flecha 159.

Una variante del método para proporcionar un  
campo magnético no uniforme de un lado a otro de la es-  
10 tructura de onda lenta es la de colocar una pluralidad  
de pastillas de material ferromagnético entre las caras  
polares del imán usado para crear el campo. La figura 5  
ilustra un par de polos norte-sur, 161, 163 respectiva-  
mente, entre los cuales va intercalado un material fe-  
15 rromagnético (de gran permeabilidad). Las líneas de flu-  
jo 165 distantes de este material ferromagnético no son  
afectadas por él.

Las líneas de flujo 175 próximas al material  
ferromagnético 167 son atraídas y concentradas por él.  
20 Las líneas de flujo 181 próximas al material ferromagne-  
tico 171 son igualmente afectadas. La misma acción se  
produce con el material ferromagnético 169, 173 y las  
líneas de flujo 179, 183. Una estructura de onda lenta  
colocada dentro de este campo magnético experimentará  
25 una diversidad de intensidades de campo en sentido trans-

versal a su longitud, de 165 a 186, presentando así las características de una amplia anchura de banda instantánea.

5 En lugar de colocar material ferromagnético entre las caras polares para obtener un campo magnético no uniforme, se puede obtener un campo magnético no uniforme más regulado, mediante el recurso de colocar unos bucles de corriente 191, 193, 195 entre las caras polares (figura 6). Los polos norte y sur 187, 189 tienen  
10 caras paralelas entre sí. Haciendo variar la intensidad y el sentido del paso de corriente en los diversos bucles de corriente 191, 193 y 195, y con ello ayudando o contrarrestando al campo magnético entre las caras polares, es posible hacer variar a voluntad la uniformidad  
15 del campo magnético desde 197 a 199 en una estructura de onda lenta.

En la figura 7 se ilustra un ejemplo de la característica de ganancia y anchura de banda de un solo paso del maser de onda reflejada de la figura 1. El maser  
20 de un solo paso o etapa se mantuvo a una temperatura de trabajo de 4,4 K durante el ensayo. Un oscilador de onda regresiva daba 50 mW de energía de bombeo distribuida desde 51,7 a 52,3 GHz. Como puede verse por la curva 201, el maser de un solo paso dio una ganancia neta comprendida  
25 entre  $6\frac{1}{2}$  y  $7\frac{1}{2}$  dB en toda una anchura de banda de 300 MHz

centrada a 24,6 GHz.

El mismo amplificador de maser se mantuvo a una temperatura de funcionamiento de 1,9 K y se volvió a probar. Como puede verse por la curva 203 (figura 8),  
5 el maser tenía una ganancia neta comprendida entre 16 y 17 dB (un factor de amplificación comprendido entre 40 y 50) de un lado a otro de una anchura de banda de 235 MHz.

En resumen, lo que se ha descrito es un maser  
10 bidireccional de onda reflejada que presenta una característica de ganancia neta equivalente a la de un maser de onda progresiva de la técnica ya conocida de más del doble de longitud que el de la presente invención. Median  
te la disposición de pasos en cascada y la inmersión de  
15 las estructuras de onda lenta en un campo magnético no uniforme, se obtiene un amplificador de maser de onda reflejada que tiene una anchura de banda excepcionalmente amplia al propio tiempo que mantiene una ganancia comparable a la de los amplificadores de maser de onda pro-  
20 gresiva de la técnica ya conocida. Como es obvio, a la luz de las enseñanzas arriba indicadas es posible realizar muchas modificaciones y variantes de la presente invención. Se sobreentiende que, dentro del ámbito de las reivindicaciones que siguen, la invención puede ponerse  
25 en práctica de manera distinta a la específicamente des-

crita en lo que antecede.

La presente solicitud que corresponde a la presentada en Estados Unidos de América, el 12 de Febrero de 1.975 con el número 549.418, se acoge a los beneficios del artículo 51 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.

#### REIVINDICACIONES

10

Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los que se recogen en las reivindicaciones siguientes:

15

1ª.- Un maser de onda progresiva en dos sentidos o direcciones, que comprende: unos medios de guía de ondas dotados de extremos primero y segundo, de los cuales el segundo extremo de dichos medios de guía de ondas refleja las señales de onda progresiva que se propagan hacia él; una estructura de maser de onda lenta colocada en dichos medios de guía de ondas, entre los citados extremos primero y segundo; y unos medios para introducir señales en dichos medios de guía de ondas, y retirar señal de los mismos, por dicho primer extremo.

20  
25

2ª.- El maser de la reivindicación 1ª, que comprende además unos medios para suministrar energía de bombeo a dicha estructura de maser de onda lenta, por el segundo extremo de dicha guía de ondas.

5 3ª.- El maser de la reivindicación 1ª, en el que la citada estructura de onda lenta comprende una pieza maciza de cristal de rubí que llena la guía de ondas a lo largo de una parte de su longitud, entre los extremos primero y segundo.

10 4ª.- El maser de la reivindicación 1ª, en el que dicha estructura de onda lenta comprende una estructura del tipo de "peine" dispuesta entre dos pastillas de material de maser, permitiendo dicha estructura de onda lenta la propagación de ondas en ambos sentidos a lo largo de dicha guía de ondas.

15 5ª.- El maser de la reivindicación 1ª, en el que los citados medios de introducir y retirar señales de dicha guía de ondas comprenden un circulador de banda ancha acoplado al primer extremo de la citada guía de ondas.

20 6ª.- El maser de la reivindicación 1ª, que comprende además unos medios para mantener un campo magnético no uniforme de un lado a otro de dicha estructura de maser de onda lenta.

25 7ª.- El maser de la reivindicación 6ª, que com

prende además unos medios para suministrar energía de bombeo a dicha estructura de maser de onda lenta, por el segundo extremo de dicha guía de ondas.

5           8a.- El maser de la reivindicación 6a, en el que la citada estructura de onda lenta comprende una pieza maciza de cristal de rubí que llena la guía de ondas a lo largo de una parte de su longitud, entre los extremos primero y segundo.

10           9a.- El maser de la reivindicación 6a, en el que dicha estructura de onda lenta comprende una estructura del tipo de peine dispuesta entre dos pastillas de material de maser, permitiendo dicha estructura de onda lenta la propagación de ondas en ambos sentidos a lo largo de dicha guía de ondas.

15           10a.- El maser de la reivindicación 6a, en el que dichos medios de introducir y retirar señales de dicha guía de ondas comprenden un circulador de banda ancha acoplado al primer extremo de dicha guía de ondas.

20           11a.- El maser de la reivindicación 6a, en el que dichos medios para mantener un campo magnético no uniforme comprenden un par de polos magnéticos, uno a cada lado de la citada estructura de onda lenta, con sus caras polares sesgadas una respecto a la otra.

25           12a.- El maser de la reivindicación 6a, en el que dichos medios para mantener un campo magnético no

uniforme comprenden un par de polos magnéticos, uno a cada lado de dicha estructura de onda lenta, con sus caras polares paralelas; y un material ferromagnético interpuesto entre los citados polos magnéticos.

5                   13ª.- El maser de la reivindicación 6ª, en el que dichos medios para mantener un campo magnético no uniforme comprenden un par de polos magnéticos, uno a cada lado de dicha estructura de onda lenta, con sus caras polares paralelas; y un bucle que lleva corriente, interpuesto entre los citados polos magnéticos.

10                   14ª.- El maser de la reivindicación 1ª, que comprende: un maser bidireccional de primer paso o etapa, que incluye unos primeros medios de guía de ondas dotados de unos extremos primero y segundo, de los cuales el segundo extremo de dichos medios de guía de ondas refleja todas las señales que se propagan hacia él; una primera estructura de onda lenta colocada en dichos medios de guía de ondas entre los citados extremos primero y segundo; unos primeros medios para introducir señales en dichos primeros medios de guía de ondas, y para retirar señales de los mismos, por dicho primer extremo; un maser bidireccional de segundo paso o etapa, que incluye unos segundos medios de guía de ondas dotados de unos extremos primero y segundo, de los cuales el segundo extremo de dichos medios de guía de ondas

refleja todas las señales que se propagan hacia él;  
una segunda estructura de onda lenta colocada en di-  
chos segundos medios de guía de ondas, entre los cita-  
dos extremos primero y segundo; unos segundos medios  
5 para introducir señales en dichos segundos medios de  
guía de ondas, y para retirar señales de los mismos,  
por dicho primer extremo; unos medios para acoplar uni  
direccionalmente dichos maseres bidireccionales prime-  
ro y segundo; y unos medios para mantener un campo mag-  
10 nético no uniforme de un lado a otro de dichas estruc-  
turas de onda lenta primera y segunda.

15 15ª.- El maser de la reivindicación 14ª, que  
comprende además unos medios para suministrar energía  
de bombeo a dichas estructuras de onda lenta primera y  
segunda a través del segundo extremo de los citados me-  
dios de guía de ondas primero y segundo.

20 16ª.- El maser de la reivindicación 14ª, en  
el que dichas estructuras primera y segunda de onda len-  
ta comprenden una pieza maciza de cristal de rubí que  
llena su guía de ondas respectiva durante cierta distan-  
cia a lo largo de su longitud entre los extremos primero  
y segundo de las guías de ondas.

25 17ª.- El maser de la reivindicación 14ª, en el  
que dichas estructuras primera y segunda de onda lenta  
comprenden una estructura del tipo de peine dispuesta en

tre dos pastillas de material de maser, permitiendo dicha estructura de onda lenta la propagación de ondas en ambos sentidos a lo largo de dicha guía de ondas.

5                   18a.- El maser de la reivindicación 14a, en el que dichos primeros medios para introducir y retirar señales de dicha primera guía de ondas comprenden un primer circulador de banda ancha acoplado al primer extremo de dicha primera guía de ondas y a los citados medios de acoplamiento; y en el que dichos segundos me  
10                   dios para introducir y retirar señales de dicha segunda guía de ondas comprenden un segundo circulador de banda ancha acoplado al primer extremo de dicha segunda guía de ondas y a los citados medios de acoplamiento.

15                   19a.- El maser de la reivindicación 14a, en el que dichos medios para mantener un campo magnético no uniforme comprenden un par de polos magnéticos, uno a cada lado de dichos pasos primero y segundo, con sus caras polares sesgadas una respecto a la otra.

20                   20a.- El maser de la reivindicación 14a, en el que dichos medios para mantener un campo magnético no uniforme comprenden un par de polos magnéticos, uno a cada lado de dichos pasos primero y segundo, con sus caras polares paralelas; y un material ferromagnético  
25                   interpuesto entre dichos polos magnéticos.

21ª.- El maser de la reivindicación 14ª, en el que dichos medios para mantener un campo magnético no uniforme comprenden un par de polos magnéticos, uno a cada lado de dichos pasos primero y segundo, con sus caras polares paralelas; y un bucle que lleva corriente, interpuesto entre dichos polos magnéticos.

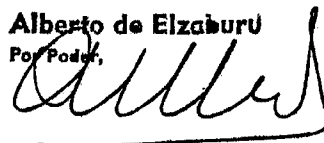
22ª.- Un maser de onda progresiva en dos sentidos.

Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los dibujos que se acompañan y para los fines que se han especificado.

Esta Memoria consta de treinta y una hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 15.12.1977

P.A. Alberto de Elzaburu  
Por Poder,



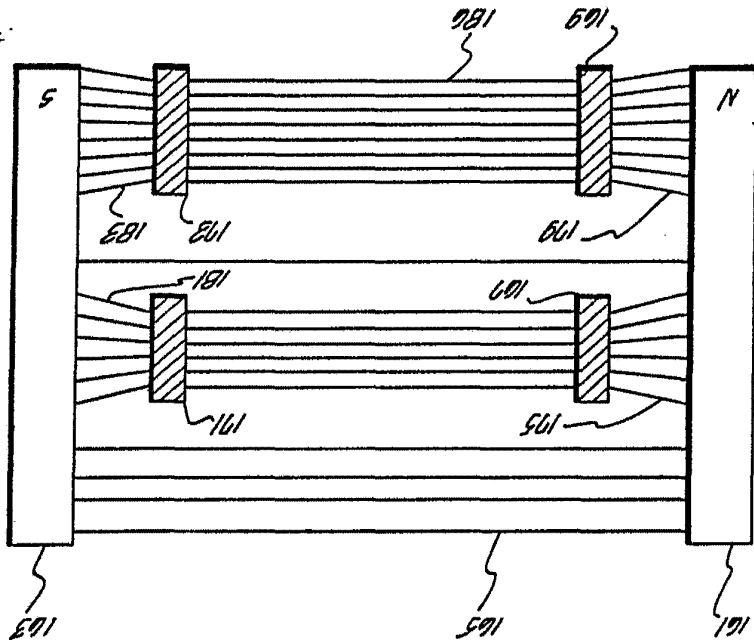
7.4.77  
EBL. -





Alberto de Mendonça  
for Patent

FIG. 5



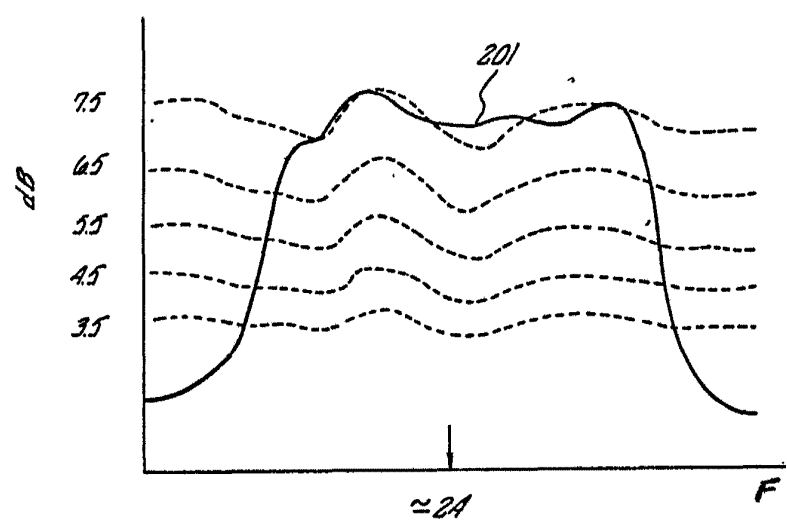


FIG 7-

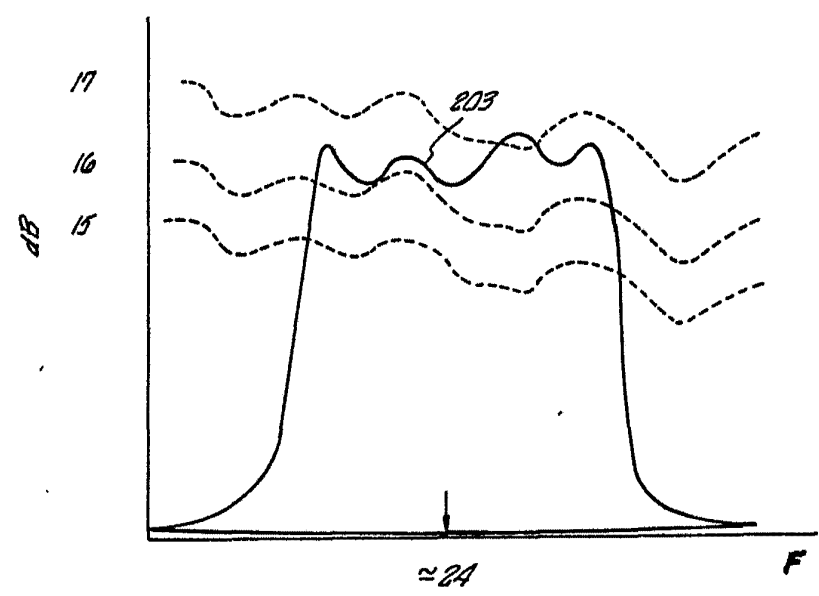


FIG 8-

Alberto de...  
Por Poder...  
*[Signature]*