

AMPLIFICADORES de tipo MMIC para RF

En este breve artículo se explica cómo optimizar el uso de dispositivos MMIC y os damos toda la información útil para diseñar un amplificador de radiofrecuencia.

A menudo, en nuestros circuitos montados con componentes **SMD** se utilizan pequeños amplificadores de radio frecuencia, llamados **MMIC** (abreviatura de **Monolithic Microwave Integrated Circuits**). En estas pocas páginas queremos ofrecer toda la información necesaria para utilizarlos correctamente, con el fin de obtener el máximo rendimiento de estos componentes.

Estos dispositivos son muy interesantes para quien trabaja en el campo de la radio frecuencia porque permiten, de una manera sencilla, realizar varios estadios de amplificación de señal con frecuencias que van desde varios cientos de **KHz** hasta **4.000 MHz** utilizando un número reducido de componentes y obteniendo una amplia banda y una impedancia de entrada/salida ya adaptada a los típicos 50 ohmios utilizado en el campo de la radio.

El interior del circuito integra algunos **transistores** (normalmente 2 o 3) acoplados en continua con configuración **Darlington** y varias resistencias útiles para polarizar los estadios y para introducir la

retroalimentación necesaria para obtener la elevada banda a disposición y el adaptador de impedancia a **50 ohmios** (ver fig.1). En la fig.7 se representan las patillas de conexión de estos componentes, como se puede ver, tienen los dos pines de tierra (**GND**), un pin de entrada (**RFIN**) y un pin de salida-alimentación (**RFout + DC**). Debido a que su tamaño es realmente reducido, es crucial para su funcionamiento su correcta colocación para evitar daños.

Para completar la amplificación es necesario utilizar otros componentes: dos **condensadores de desacoplamiento** colocados respectivamente en la entrada y en el terminal de salida del **MMIC**, de modo que el generador y la carga unidos a él no cambien el voltaje (tensión continua) de este pin, una **resistencia de limitación de corriente** y algún **condensador by-pass** conectado a la línea de suministro. Para minimizar los efectos perjudiciales que podría causar una conexión a tierra de alta **inductancia parásita**, todos estos dispositivos **MMIC** tienen dos pines de tierra. De esta manera se mejora la estabilidad del estadio y se asegura que la banda es la declarada por el fabricante. Por ello, recomendamos que, en la fase de montaje sobre un circuito impreso, se suelden **los dos** pines de tierra.

En la fig.1 se puede ver cómo son un **MMIC** y sus pins: en particular, los dos pins de tierra **GND** y el pin que aúna la salida de **RF** y la alimentación **DC**. En la fig.3 el estadio completo incluyendo todos los componentes necesarios para el amplificador: como se puede ver, son suficientes cuatro condensadores y una resistencia.

La resistencia **R1** tiene la función de **limitar la corriente**, de modo que la caída de tensión en sus extremos sea igual a la diferencia entre la tensión de alimentación y la tensión de trabajo típica del **MMIC**. El valor de esta resistencia se calcula a partir a los valores de **voltaje/corriente** de trabajo suministrada por los diversos fabricantes.

A continuación, enumeramos algunos modelos de **MMIC** de los fabricantes más conocidos:

tipo di MMIC	fabricante
MAV11	MINI-CIRCUITS
ERA5	MINI-CIRCUITS
INA10386	AGILENT(HP)
SGA6586	SIRENZA

En la tabla n ° 1 hemos enumerado las principales características de estos **MMIC**, tales como la ganancia en **dB** en función de la frecuencia, la potencia máxima de salida en **dBm** y el ruido expresado en **dB**, el voltaje de trabajo **Vbias** y la corriente de trabajo **Ibias**, útiles para determinar -como se explicará más adelante-el valor de la resistencia de caída **R1**.

Para todos los amplificadores **MMIC** que tomaremos como ejemplo la resistencia **R1** se calcula con la siguiente fórmula:

$$R1 = (V_{cc} - V_{bias}) : I_{bias}$$

donde:

R1 se expresa como **Kilohmios**;

Vcc es el valor de la tensión de alimentación, expresada en **voltios**;

VBIAS es el voltaje de trabajo del **MMIC** indicado en la Tabla N ° 1 y expresado en **voltios**;

Ibias es la corriente de trabajo del **MMIC** indicado en la Tabla N ° 1 y expresado en **Miliamperios**.

La potencia mínima que tiene que tener esta resistencia es igual a:

$$WR1 = R1 \cdot (I_{bias}^2 - I_{bias})$$

donde:

WR1 es la potencia mínima en **vattios**;

R1 se expresa en **ohmios** e **Ibias** en **amperios**.

Teniendo en cuenta las frecuencias en juego se debe utilizar una resistencia no inductiva, y no es posible el uso de resistencias de cable. Obviamente, la tensión de

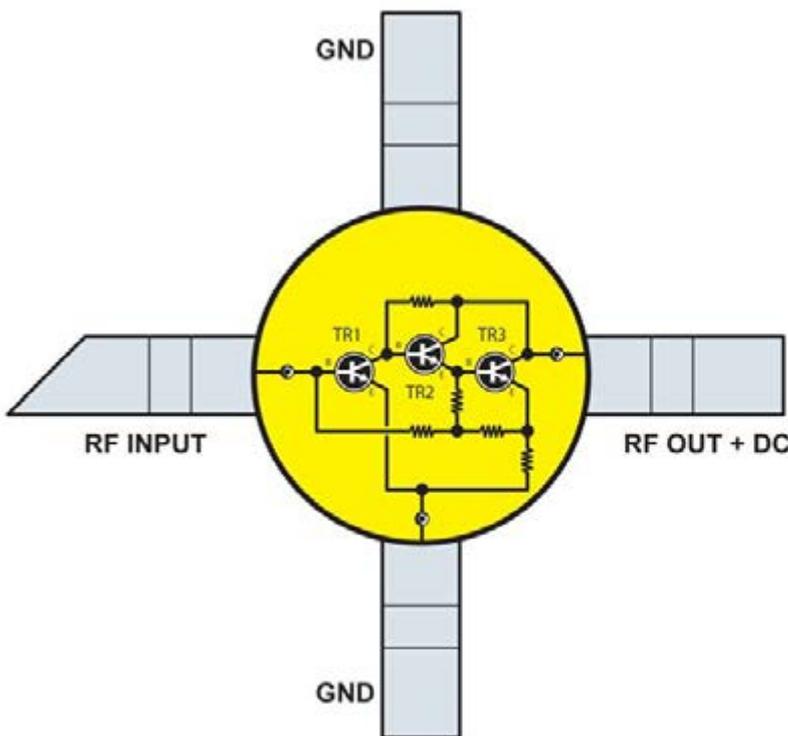


Fig.1 Dentro del pequeño recipiente hay un completo circuito de amplificación compuesto por diferentes transistores para alta frecuencia. El pin de salida RFout + DC es común al cable de alimentación. También hay dos pines de tierra.

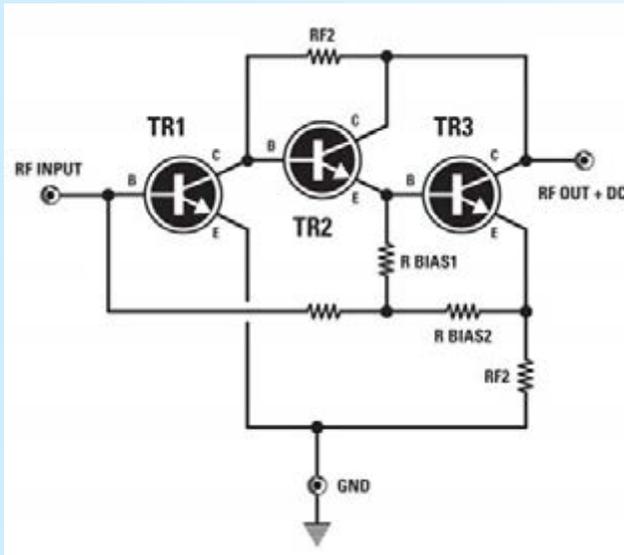


Fig. 2 Esquema interno de un típico amplificador MMIC. Como se puede ver, todas las fases se acoplan en continua lo que permite obtener, junto con las resistencias de retroalimentación, un amplificador con una amplia banda.

alimentación **Vcc** disponible debe ser siempre mayor que la tensión **Vbias** de trabajo del **MMIC** considerado; es preferible que entre los dos valores haya una diferencia de al menos 4 o 5 voltios.

Con respecto a los condensadores de desacoplamiento de entrada/salida **C1** y **C2**, su capacidad determina la frecuencia mínima de trabajo del estadio.

Estos condensadores tienen también la tarea de bloquear la tensión continua en el pin del **MMIC**, pero dejan pasar sin atenuación la señal de RF.

Para calcular su valor se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$C1 = C2 = 1.000 : (6,28 \cdot \text{MHz})$$

donde:

C1 y **C2** se expresan en nanofaradios;

MHz es la frecuencia mínima de trabajo y se expresa en Megahercios.

Estos condensadores deben ser de buena calidad, disco de cerámica, y deben tener una baja inductancia parásita.

Los dos condensadores by-pass **C3** y **C4**, que tienen funciones de filtro, colocados en la línea de suministro, tienen que tener un valor diferente el uno del otro, al menos de un factor 10: por ejemplo, **C3** podría tener una capacidad de **10.000 pF** y **C4** de **1.000 pF**.

Los valores absolutos a utilizar dependerán de la frecuencia de trabajo del amplificador, por lo que a bajas frecuencias

se utilizan altos niveles de capacidad y viceversa en el caso de altas frecuencias.

Si el estadio es de banda ancha, también se recomienda aumentar el número de estos condensadores by-pass siempre de valor diferente entre ellos. Incluso en este caso tendremos que usar condensadores de disco de cerámica, acortando al máximo los terminales durante el montaje.

Después de esta breve introducción, vamos a calcular los componentes necesarios para nuestro amplificador: elegimos, por ejemplo, un **MMIC ERA5** y lo hacemos trabajar para una frecuencia mínima de **50 MHz** con una tensión de alimentación **Vcc** de **12 voltios**. El esquema utilizado se reproduce en la fig.3. De la **tabla N° 1** se deduce que el **ERA5** tiene un **VBIAS** de **4,9 voltios** con una corriente **Ibias** de **65 miliamperios**: por lo tanto, podemos calcular la resistencia **R1** que será igual a: **R1 = (12 - 4,9) : 65 = 0,109 Kohm**

correspondientes a **109 ohmios**.

La potencia mínima que debe tener esta resistencia es igual a:

$$WR1 = 109 \cdot (0,065 - 0,065) = 0,46 \text{ vatios}$$

Nota: hemos convertido la corriente Ibias en amperios!

Siendo **109 ohmios** un valor no-estándar, podemos obtenerlo conectando en paralelo dos resistencias de **220 ohmios 1/4 vatios**, obteniendo un valor total de **110 ohmios 1/2 vatios** muy próximo al teórico. Los condensadores **C1** y **C2** tendrán una capacidad de:

$C1 = C2 = 1.000 : (6,28 \cdot 50) = 3,18$ nanoFaradios correspondientes a **3.180 pF**

Podemos redondear el valor y usar condensadores de disco de **3300 pF**, que es el valor estándar más cercano al calculado. Para los condensadores **C3-C4** podemos utilizar valores estándar de **1.000 pF** y **10.000 pF**.

En la fig.4 se reproduce el esquema del circuito diseñado: como se puede ver, para la entrada y la salida es necesario usar conectores con una impedancia de **50 Ohm**, tipo los **BNC**, para reducir la diferencia de impedancia y tener una protección adecuada de las conexiones. Obviamente también se pueden usar componentes en **SMD** que permiten obtener una mejora del rendimiento, ya que estos componentes, en comparación con los tradicionales, tienen mejores características debido a la baja inductancia parásita.

A veces, en algunos diagramas eléctricos que utilizan amplificadores **MMIC**, en serie con la resistencia **R1** va conectada una inductancia: luego explicaremos con más detalle los motivos de esta configuración.

Estos amplificadores, para su correcto funcionamiento,

requieren un plano de tierra muy bueno. Por esta razón, es deseable que el montaje se ejecute en una placa de circuito impreso de dos caras, donde la inferior debe ser utilizada en su totalidad para el recorrido de tierra.

Se utilizarán diferentes puntos de conexión (**VIAS**) entre las dos caras, especialmente en las proximidades de los pines de masa del **MMIC** y de los condensadores de **bypass**. Para evitar desajustes y reflexiones hay que usar microstrip de **50-ohm** para las pistas de circuito impreso que conectan la entrada y la salida del amplificador al generador y a la carga.

Las microstrip son sólo pistas normales de cobre grabadas en la superficie superior del circuito impreso. El valor de **50 ohmios** está determinado por la anchura de la pista, para un impreso estándar en el que el espesor del dieléctrico es igual a **1,6 mm**, es de unos **2,7 mm**.

En la fig.5 se puede ver el circuito dispuesto según estos parámetros. La longitud las **microstrip** no es decisiva para la impedancia de **50 ohmios** que permanece siempre constante para cualquier longitud: para obtener una curva, se puede hacer como se ilustra en la fig.6.

Tabla N. 1 Características de los amplificadores MMIC

MMIC	Range Freq.	Guadagno	Max Pout	nF	Vbias	Ibias
MAV11	da 0 a 1.000 MHz	12,7 dB (100 MHz)	+17,5 dBm	3,6 dB	5,5 V	60 mA
		12 dB (500 MHz)	+17,5 dBm			
		10,5 dB (1.000 MHz)	+17,5 dBm			
ERA5	da 0 a 4.000 MHz	20,2 dB (100 MHz)	+18,4 dBm	3,5 dB	4,9 V	65 mA
		19,5 dB (1.000 MHz)	+18,4 dBm	3,5 dB		
		15,5 dB	+17 dBm	3,5 dB		
		16,7 dB	+14 dBm	3,5 dB		
		14,3 dB	+12,5 dBm	3,5 dB		
INA10386	da 0 a 1.800 MHz	26,6 dB (50 MHz)	+10 dBm	3,8 dB	6 V	45 mA
		26,7 dB (100 MHz)	+10 dBm			
			+10 dBm			
			+10 dBm			
			+10 dBm			
SGA6586	da 0 a 4.000 MHz	23,8 dB (850 MHz)	+21,5 dBm	3,1 dB	4,9 V	80 mA
		18,4 dB (1.950 MHz)	+19 dBm			
		16,7 dB (2.400 MHz)	+19 dBm			

En la tabla se han indicado las diferentes características de los amplificadores MMIC que hemos elegido. Dependiendo de la aplicación que se le quiera dar, se puede elegir el que más se presta para lograr los resultados deseados, considerando las ganancias y la potencia de salida máxima que proporciona cada uno de ellos.

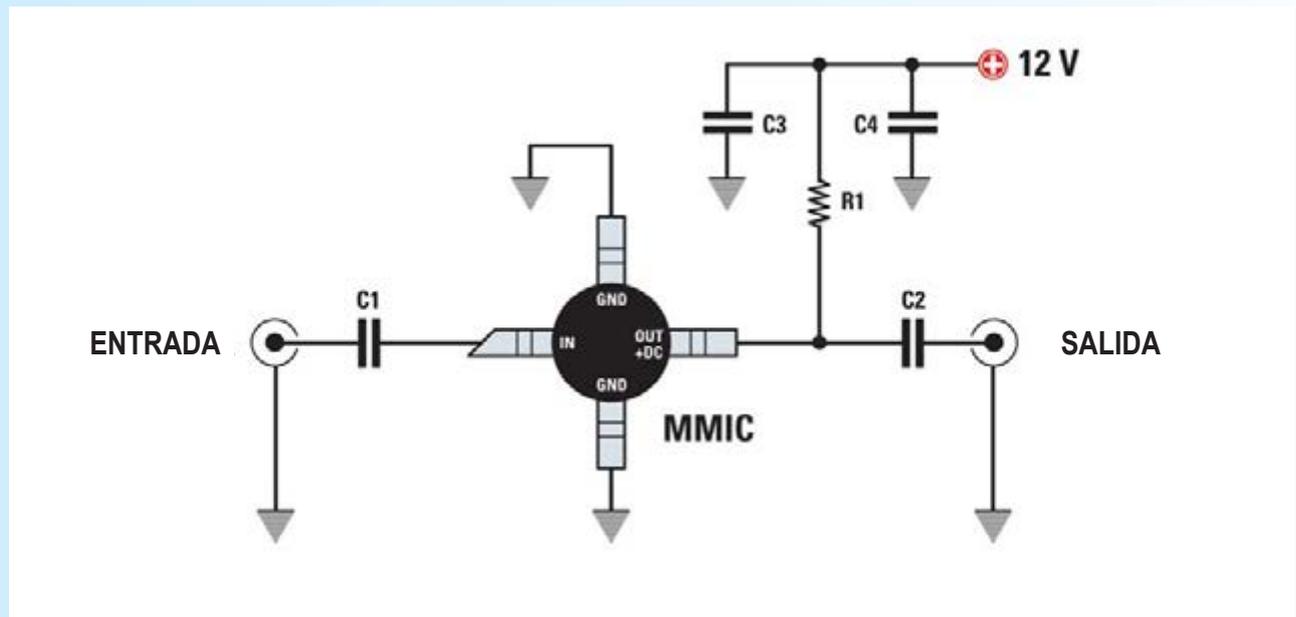


Fig.3 El diagrama completo de un amplificador se reduce a muy pocos componentes. Todas las conexiones y los terminales de resistencias y condensadores deben ser cortos.

El circuito construido debe garantizar una ganancia de al menos entre **20 dB y 100 MHz**. Para evitar **saturación** con la generación de armónicos, la señal de entrada no debe exceder los **-2 dBm** ya que, por encima de este valor, el amplificador comienza a comprimir empeorando la linealidad y generando armónicos en la señal de entrada.

A veces este fenómeno se desea, por ejemplo en los **multiplicadores de frecuencia** en los que los armónicos se filtran y amplifican para obtener una señal de salida con una frecuencia múltiplo de la de entrada: en tales casos los amplificadores **MMIC** se usa con una potencia casi igual a la potencia máxima de salida.

En algunos sistemas que utilizan **MMIC**, en serie con la resistencia **R1**, se coloca una inductancia y a continuación se explica el por qué.

Tomemos el ejemplo anterior, donde un **MMIC ERA5** se alimenta a **12 voltios** y en consecuencia, la **R1** tiene un valor de aproximadamente **110 ohmios** para obtener la adecuada limitación de corriente.

Incluso si esta resistencia está conectado entre la salida del **MMIC** y la tensión de alimentación, para la señal **RF** es como si estuviera conectada en paralelo a la salida: los condensadores **by-pass**, de hecho, hacen que el polo

positivo de alimentación sea dinámicamente "tierra" para la señal de **radiofrecuencia** (véase la figura 3).

En estas condiciones la carga real que tiene el **MMIC** no son sólo los **50 Ohmios** de salida, sino que también incluye la resistencia **R1** de polarización; precisamente la carga total a la que está sometido el **MMIC** es igual al paralelo entre la **R1** y los **50 ohmios**, es decir:

$$R_c = (110 \cdot 50) : (110 + 50) = 34,3 \text{ Ohm}$$

Entonces la carga está lejos de ser los **50 ohmios** ideales.

En estas condiciones de falta de coincidencia se crea una **ROS** (es decir, una **relación de onda estacionaria**), que producirá una pérdida de señal reduciendo la ganancia teórica.

Estas pérdidas se pueden calcular en **dB** de la manera siguiente:

1 - Primero se calcula el **VSWR** (**Voltage Standing Wave Ratio**):

$$\text{VSWR} = 50: \text{valor real de la carga}$$

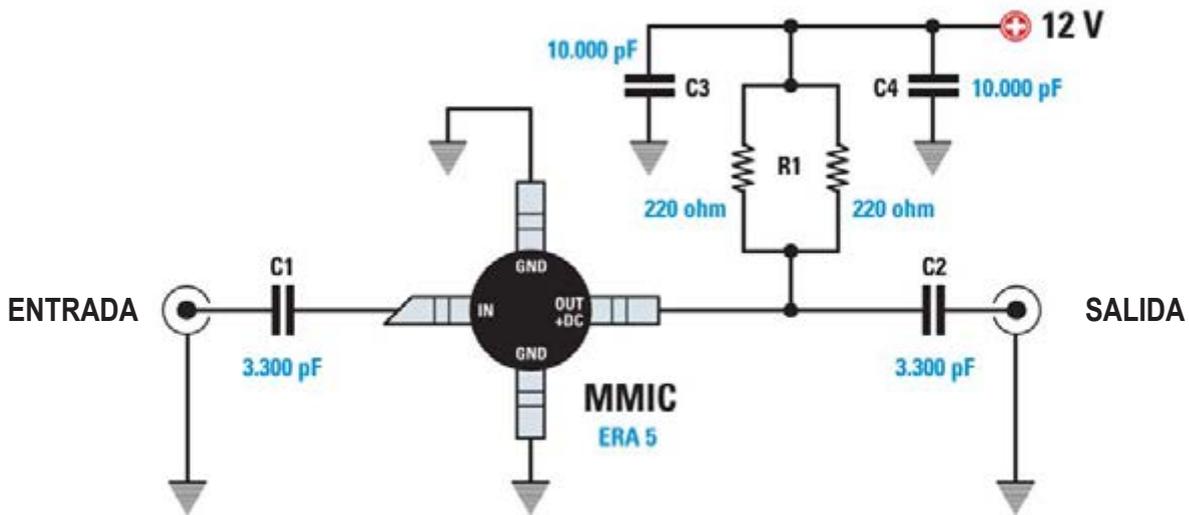


Fig. 4 En este circuito la limitación de corriente para el componente MMIC ERA5 se obtiene por el paralelo de las dos resistencias R1, que son ambas de 220 ohmios. Se obtiene un valor total igual a 110 ohmios, como es requerido por los cálculos. Aumentando la capacidad de los dos condensadores C1 y C2 se puede reducir la frecuencia mínima de trabajo del estado.

En nuestro ejemplo tenemos:

$$VSWR = 50 : 34,3 = 1,45$$

2 - la fórmula que nos da la pérdida en dB es:

$$-dB = 10 \log x [1 - ((VSWR - 1) : (VSWR + 1))]^2$$

Nota: log está en base 10.

En nuestro ejemplo tenemos:

$$-dB = 10 \log x [1 - ((1,45 - 1) : (1,45 + 1))]^2 =$$

$$-dB = 10 \log x [1 - (0,45 : 2,45)]^2 =$$

$$-dB = 10 \log x (1 - 0,183)^2 =$$

$$-dB = 10 \log x 0,667 = -1,75 \text{ dB}$$

Por lo tanto, tendrá una reducción de aproximadamente el 30% de ganancia en comparación con la teórica que podría obtener el amplificador y también empeorará también las pérdidas de retorno, **RL (Return Loss)**, un parámetro que indica cómo la impedancia de salida del MMIC se adapta a la carga [o viceversa]. Este valor se puede calcular usando la fórmula:

$$RL = 10 \log x [(VSWR - 1) : (VSWR + 1)]^2 =$$

En nuestro ejemplo tenemos:

$$RL = 10 \log x [(1,45 - 1) : (1,45 + 1)]^2 =$$

$$RL = 10 \log x (0,183)^2 = -14,7 \text{ DB}$$

Cuanto mayor sea este valor negativo, más se adaptará

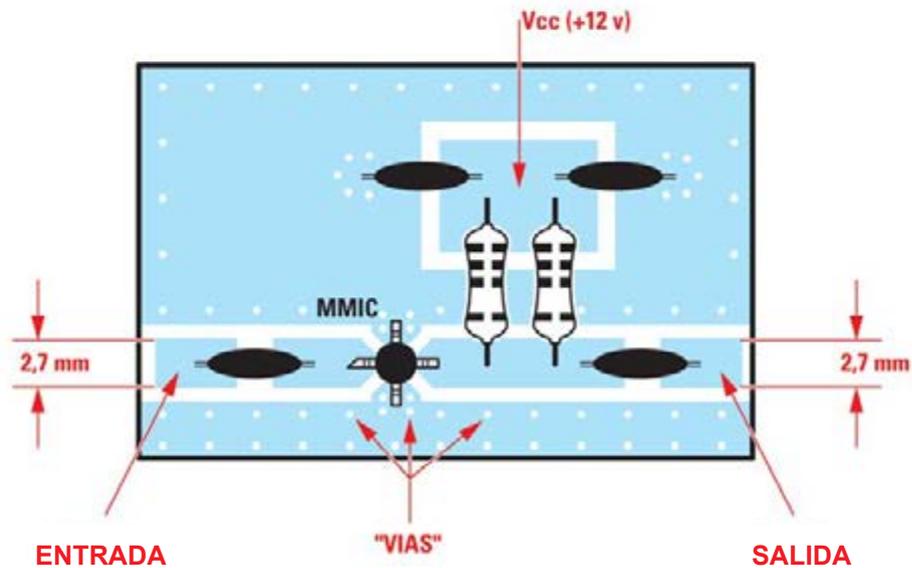


Fig.5 En este dibujo se puede ver cómo se debe hacer el circuito amplificador. La parte baja de cobre del circuito impreso actúa como un piso de tierra y por lo tanto debe ser conectado a la parte superior por medio de orificios metálicos (VIAS) o por orificios normales en los que se coloca un cable de cobre que se suelda a la masa en ambos lados.

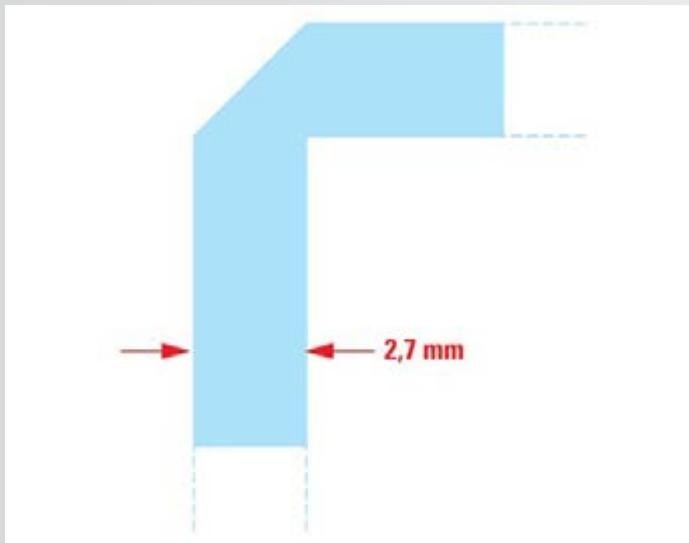
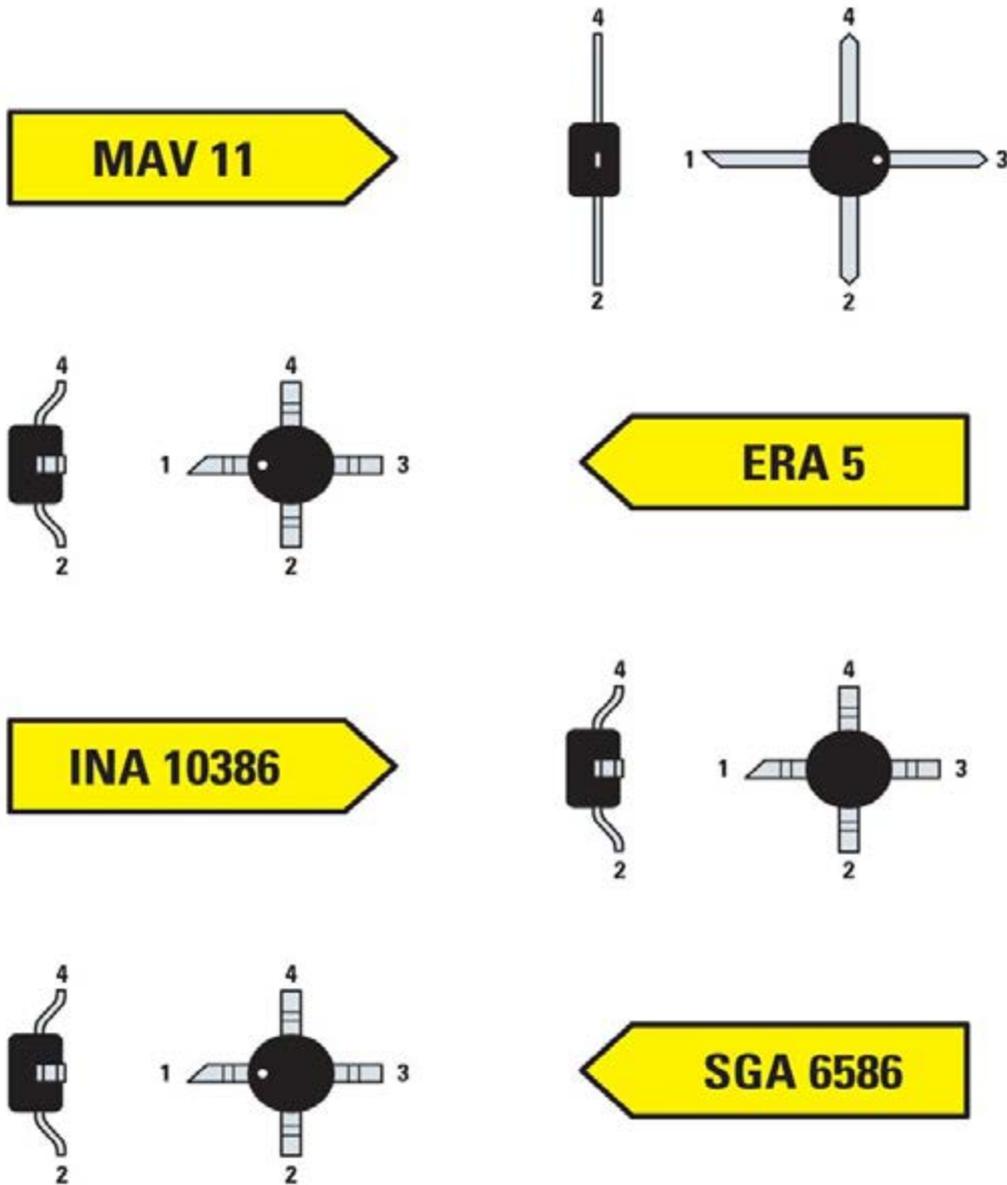


Fig. 6 El dibujo ilustra cómo se debe proceder para obtener una curva de 90 ° con un microstrip, a fin de evitar discontinuidades de la impedancia característica.



CONEXIONES MMIC	
pin	función
1	RF INPUT
2	GND
3	RF OUT + DC
4	GND

Fig. 7 Como se puede deducir observando los dibujos reproducidos en esta página, para comprender cuál es el pin de entrada de un amplificador MMIC basta con identificar el terminal sobre el que hay un bisel de 45 °; el terminal contrario es el de salida y los otros dos los de tierra.

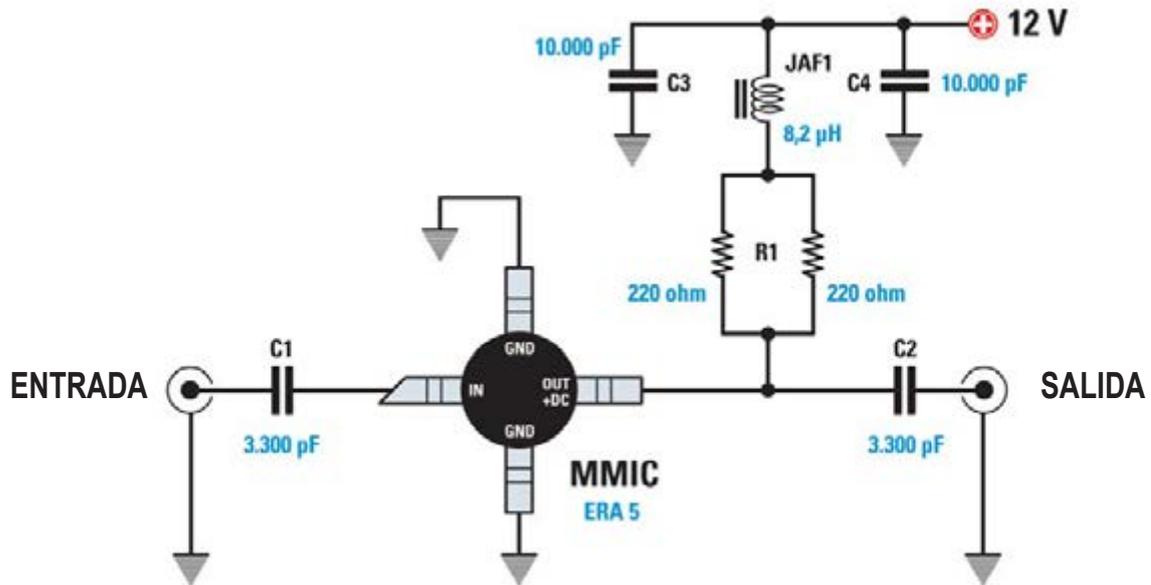


Fig.8 Añadiendo en serie con la resistencia de limitación de la impedancia JAF1 se obtiene un aumento de la ganancia y mejora el ROS de salida. La impedancia no debe tener una frecuencia de autoresonancia que esté dentro de la banda de uso.

a la fuente de carga.

En la tabla n^o 2 se puede ver la pérdida de retorno relacionada con diferentes valores de **VSWR**.

Para evitar que la resistencia a la polarización interfiera negativamente con el rendimiento del amplificador, se pone en serie con ésta una pequeña inductancia como si fuera su reactancia inductiva, ofreciendo una elevada resistencia sólo a la señal de RF y no a la corriente continua, contribuyendo a que no aparezca la resistencia de polarización como parte de la carga de salida: de esta manera se restablece la máxima ganancia ofrecida por el amplificador.

El valor de esta inductancia se calcula de manera que proporcione una reactancia inductiva **XL** de **500 ohmios** a la frecuencia mínima de la señal de entrada. Si, por ejemplo, ponemos a **10 MHz** la frecuencia mínima de trabajo, el valor de la inductancia será igual a:

$$L = 500 : (6,28 \cdot \text{MHz})$$

donde:

L es el valor de la inductancia en **microhenrios**;

500 es un número fijo;

6,28 es un número fijo;

MHz es la frecuencia mínima de trabajo.

Introduciendo los valores, se obtiene:

$$L = 500 : (6,28 \cdot \text{MHz})$$

500 : (6,28 · 10) = 500 : 62,8 = 7,96 microhenrios valor que podemos redondear a **8,2 microhenrios** que el valor comercial más próximo. En la fig.6 hemos reproducido el circuito modificado así.

Con el programa de **CAD** para **RF** "**RFSim99**" es posible, de una manera muy sencilla, ejecutar simulaciones de desajustes y ver cómo cambia la pérdida de retorno en función del valor de la resistencia de carga asignada.

Tabla N. 2

Return Loss dB	VSWR								
46,064	1,01	13,842	1,51	9,485	2,01	7,327	2,51	5,999	3,01
40,086	1,02	13,708	1,52	9,428	2,02	7,294	2,52	5,97	3,02
36,607	1,03	13,577	1,53	9,372	2,03	7,262	2,53	5,956	3,03
34,151	1,04	13,449	1,54	9,317	2,04	7,230	2,54	5,935	3,04
32,256	1,05	13,324	1,55	9,262	2,05	7,198	2,55	5,914	3,05
30,714	1,06	13,201	1,56	9,208	2,06	7,167	2,56	5,893	3,06
29,417	1,07	13,081	1,57	9,155	2,07	7,135	2,57	5,872	3,07
28,299	1,08	12,964	1,58	9,103	2,08	7,105	2,58	5,852	3,08
27,318	1,09	12,849	1,59	9,051	2,09	7,074	2,59	5,832	3,09
26,444	1,10	12,736	1,60	8,999	2,10	7,044	2,60	5,811	3,10
25,658	1,11	12,625	1,61	8,949	2,11	7,014	2,61	5,791	3,11
24,943	1,12	12,518	1,62	8,899	2,12	6,984	2,62	5,771	3,12
24,289	1,13	12,412	1,63	8,849	2,13	6,954	2,63	5,751	3,13
23,686	1,14	12,308	1,64	8,800	2,14	6,925	2,64	5,732	3,14
23,127	1,15	12,207	1,65	8,752	2,15	6,896	2,65	5,712	3,15
22,607	1,16	12,107	1,66	8,705	2,16	6,867	2,66	5,693	3,16
22,120	1,17	12,009	1,67	8,657	2,17	6,839	2,67	5,674	3,17
21,664	1,18	11,913	1,68	8,611	2,18	6,811	2,68	5,654	3,18
21,234	1,19	11,818	1,69	8,565	2,19	6,783	2,69	5,635	3,19
20,828	1,20	11,725	1,70	8,519	2,20	6,755	2,70	5,617	3,20
20,443	1,21	11,634	1,71	8,474	2,21	6,728	2,71	5,598	3,21
20,079	1,22	11,545	1,72	8,430	2,22	6,700	2,72	5,579	3,22
19,732	1,23	11,457	1,73	8,386	2,23	6,673	2,73	5,561	3,23
19,401	1,24	11,370	1,74	8,342	2,24	6,646	2,74	5,542	3,24
19,085	1,25	11,285	1,75	8,299	2,25	6,620	2,75	5,524	3,25
18,783	1,26	11,202	1,76	8,257	2,26	6,594	2,76	5,506	3,26
18,493	1,27	11,120	1,77	8,215	2,27	6,567	2,77	5,488	3,27
18,216	1,28	11,039	1,78	8,173	2,28	6,541	2,78	5,470	3,28
17,949	1,29	10,960	1,79	8,138	2,29	6,516	2,79	5,452	3,29
17,690	1,30	10,881	1,80	8,091	2,30	6,490	2,80	5,435	3,30
17,445	1,31	10,804	1,81	8,051	2,31	6,465	2,81	5,417	3,31
17,207	1,32	10,729	1,82	8,011	2,32	6,440	2,82	5,400	3,32
16,977	1,33	10,654	1,83	7,972	2,33	6,415	2,83	5,383	3,33
16,755	1,34	10,581	1,84	7,933	2,34	6,390	2,84	5,365	3,34
16,540	1,35	10,509	1,85	7,894	2,35	6,366	2,85	5,348	3,35
16,332	1,36	10,437	1,86	7,856	2,36	6,341	2,86	5,331	3,36
16,131	1,37	10,367	1,87	7,818	2,37	6,317	2,87	5,315	3,37
15,936	1,38	10,298	1,88	7,781	2,38	6,293	2,88	5,298	3,38
15,747	1,39	10,230	1,89	7,744	2,39	6,270	2,89	5,281	3,39
15,563	1,40	10,163	1,90	7,707	2,40	6,246	2,90	5,265	3,40
15,385	1,41	10,097	1,91	7,671	2,41	6,223	2,91	5,248	3,41
15,211	1,42	10,032	1,92	7,635	2,42	6,200	2,92	5,232	3,42
15,043	1,43	9,968	1,93	7,599	2,43	6,177	2,93	5,216	3,43
14,879	1,44	9,904	1,94	7,564	2,44	6,154	2,94	5,200	3,44
14,719	1,45	9,842	1,95	7,529	2,45	6,131	2,95	5,184	3,45
14,564	1,46	9,780	1,96	7,494	2,46	6,109	2,96	5,168	3,46
14,412	1,47	9,720	1,97	7,460	2,47	6,086	2,97	5,152	3,47
14,264	1,48	9,660	1,98	7,426	2,48	6,064	2,98	5,137	3,48
14,120	1,49	9,601	1,99	7,393	2,49	6,042	2,99	5,121	3,49
13,979	1,50	9,542	2,00	7,360	2,50	6,021	3,00	5,105	3,50