

## Un Nuevo Método para la Reducción de la Distorsión de Intermodulación de Tercer Orden

José María Agüero San Emeterio, Lorena Cabria de Juan, Tomás Fernández Ibáñez,  
Carmen Gómez Fernández, José Luis García García  
Departamento Ingeniería de Comunicaciones – Universidad de Cantabria  
e-mail: [chema@dicom.unican.es](mailto:chema@dicom.unican.es)

### ABSTRACT

In this paper we present a new technique, which reduces amplifier intermodulation. It is shown that the third order intermodulation products generated by an amplifier can be reduced by adding a new parallel branch which generates an IMD(3) of the same amplitude and opposite polarity than the main branch. This paper also shows that third order intermodulation can be reduced by more than 30 dB in the parallel amplifier using a Wilkinson type divider and an 180° Hybrid combiner.

### 1. INTRODUCCIÓN

El empleo de transmisores lineales se ha convertido en una necesidad creciente en los sistemas de comunicaciones modernos, debido al empleo de técnicas multiportadora, por un lado y, por otro, al uso de modulaciones más eficientes. Además los servicios multimedia requieren anchos de banda muy grandes, por lo que se necesita un comportamiento lineal en banda ancha. A todo esto hay que sumar que los equipos operados con baterías como es el caso de los terminales móviles, requieren unos niveles de eficiencia bastante elevados. En este artículo, proponemos un nuevo método de linealización que permite minimizar la distorsión de intermodulación de tercer orden (IMD(3)) para transistores de efecto de campo (FET), añadiendo una nueva rama paralela con un FET que se encuentre adecuadamente polarizado.

### 2. ANÁLISIS TEÓRICO

La corriente de drenador de un FET puede aproximarse por un desarrollo en serie alrededor del punto de polarización en el que se está trabajando. Aunque la capacidad puerta-fuente ( $C_{gs}$ ) y la resistencia drenador-fuente ( $g_{ds}$ ) son fuentes significativas de intermodulación, para nuestro análisis se consideró que la no linealidad dominante era la fuente de corriente de drenador ( $I_d$ ), además puesto que las no linealidades causadas por la variación en la tensión en puerta son las más influyentes, se puede aproximar la corriente de drenador por la siguiente expresión:

$$i_d = \left. \frac{dI_d}{dV_g} \right|_{V_g=V_{g,0}} v_g + \frac{1}{2} \left. \frac{d^2 I_d}{dV_g^2} \right|_{V_g=V_{g,0}} v_g^2 + \frac{1}{6} \left. \frac{d^3 I_d}{dV_g^3} \right|_{V_g=V_{g,0}} v_g^3 \quad (1)$$

$$= g_{m1} v_g + g_{m2} v_g^2 + g_{m3} v_g^3$$

donde  $I_d$  es la corriente de drenador de gran señal y  $v_g$  e  $i_d$  son respectivamente, la tensión en puerta y la corriente en drenador incrementales, alrededor del punto de polarización  $I_d(V_{g,0})$ .

Cuando se excita el amplificador con dos tonos a  $f_1$  y  $f_2$ , se genera distorsión de intermodulación de tercer orden, en banda, a las frecuencias  $2f_1-f_2$  y  $2f_2-f_1$ . Esta distorsión se debe principalmente al tercer término en (1). En la Figura 1, se muestra la característica I-V medida del transistor PHEMT de Agilent ATF-35143, así como las derivadas de su corriente de drenador ( $I_d$ ) con respecto a la tensión en puerta ( $V_g$ ). La curva  $g_{m3}$  presenta un pico por debajo de la tensión de pinch-off ( $V_p$ ) y un valle por encima de dicha tensión. De forma intuitiva, se puede deducir que para cancelar la IMD(3) tan sólo será necesario encontrar los puntos de polarización adecuados que hagan que los transistores de cada una de las dos ramas tengan una  $g_{m3}$  de igual magnitud y signo opuesto. De esta forma, al ser la señal de entrada de la misma amplitud, la distorsión de intermodulación generada por cada una de las dos ramas será de la misma amplitud, pero de polaridad opuesta, de forma que al sumar ambas contribuciones, estas se cancelen entre sí.

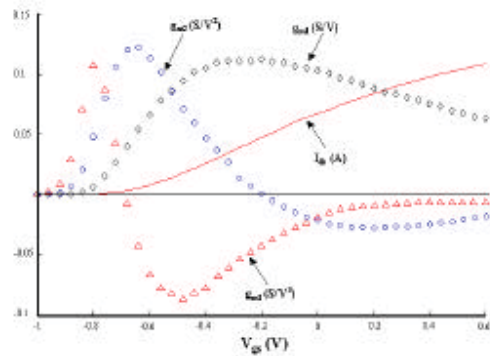


Figura 1. Característica I-V del transistor PHEMT de Agilent, ATF-35143, y derivadas ( $V_{ds}=3$  vol).

Además, el punto de polarización para la rama secundaria deberá ser un punto en el que  $g_m$  sea pequeña, de forma que la ganancia final del amplificador (con las dos ramas) no se vea apenas modificada. Si  $g_m$  es pequeña, la contribución de la rama secundaria en la señal de salida a la frecuencia fundamental, es mínima y por tanto la ganancia del amplificador con las dos ramas se mantiene igual que en el caso del amplificador sin mejora de la IMD(3).

En la Figura 2 se puede ver el diagrama del circuito con las dos ramas. Ambas presentan idéntica estructura y utilizan el transistor PHEMT de Agilent, ATF-35143, la diferencia entre ellas se

encuentra en el punto de polarización del transistor y en las redes de adaptación.

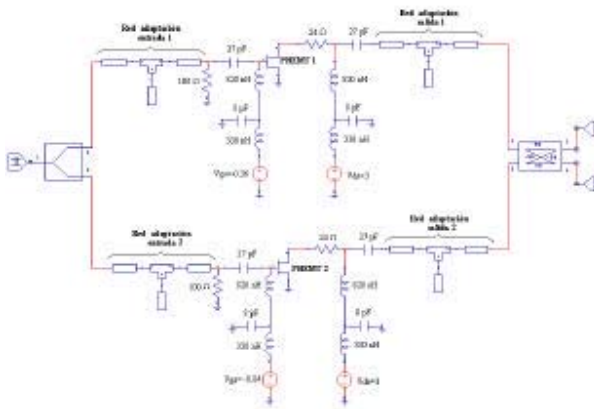


Figura 2. Diagrama amplificador (Dos ramas)

De acuerdo con Figura 2, si la señal incidente en la puerta 1 del anillo híbrido circular ( $a_1$ ), es de igual amplitud y fase que la señal incidente en la puerta 2 ( $a_2$ ), a las frecuencias  $2f_1-f_2$  y  $2f_2-f_1$ , la señal de salida en la puerta 4 ( $b_4$ ) para estas frecuencias será nula, cancelándose de esta forma la distorsión de intermodulación de tercer orden. Por tanto, fue necesario determinar el punto adecuado de trabajo para la rama secundaria, de forma que se minimizase la distorsión de intermodulación de tercer orden. Este punto, como habíamos intuído debía cumplir esencialmente dos condiciones:

- Presentar un valor de  $g_{m3}$  de igual magnitud que el valor de  $g_{m3}$  de la rama principal.
- Presentar un valor de  $g_m$  pequeño, que no influya en la ganancia final del bloque amplificador.

	PHEMT 1	PHEMT 2
$g_{m1}$	109.6 (mS)	2.5 (mS)
$g_{m2}$	36.8 (mS/V)	21.1(mS/V <sup>2</sup> )
$g_{m3}$	-77.9 (mS/V <sup>3</sup> )	71.2 (mS/V <sup>3</sup> )

Tabla 7.1 Valores de  $g_{m1}$ ,  $g_{m2}$  y  $g_{m3}$  para los puntos de polarización de trabajo.

### 3. RESULTADOS OBTENIDOS

Para comprobar la validez de nuestro diseño, excitamos nuestro amplificador con dos señales de igual amplitud (-15 dBm) y separadas entre sí 1 MHz, y comparamos la respuesta frecuencial del amplificador con una única rama, con la de nuestro diseño con dos ramas. De forma gráfica puede observarse la mejora de la distorsión de intermodulación de tercer orden en la Figura 3. También quedó demostrado en estas simulaciones, que esta mejora era independiente de la potencia con la que se estaba excitando el circuito.

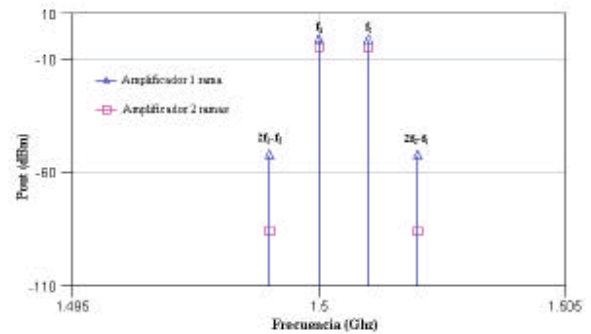


Figura 3. Espectro de la señal de salida.

Con la rama secundaria añadida al amplificador se consigue una mejora de 33 dB en la distorsión de intermodulación de tercer orden, reduciendo la ganancia final del amplificador en aproximadamente 2.75 dB (para  $P_{in}=-15$  dBm). Esta reducción se debe a que el híbrido utilizado para combinar la potencia de salida, presenta un factor de acoplo de 3 dB. Puesto que a la frecuencia fundamental se suma también la contribución de la rama secundaria, la pérdida final en ganancia es algo menor de esos 3 dB, que pierde el combinator.

### 4. CONCLUSIONES

En este artículo, se ha presentado un método capaz de reducir la distorsión de intermodulación de tercer orden. El método esta basado en el hecho de que la distorsión de intermodulación de tercer orden generada por un amplificador, puede ser cancelada (o al menos, disminuida en gran medida) añadiendo una nueva rama en paralelo, que genere una IMD(3) de igual amplitud y polaridad opuesta. De esta forma al sumar ambas contribuciones estas se cancelan entre sí. Se ha conseguido una mejora, en la IMD(3) de un amplificador de 33 dB, y como se ha demostrado, independientemente de la potencia de entrada, siempre que nos encontremos en la zona lineal.

### 5. REFERENCIAS

- [1] J.A.García : “Control de la Distorsión No Lineal de Intermodulación sobre Dispositivos MESFETs/HEMTs de ASGA”. Tesis Doctoral, Universidad de Cantabria, Santander, Enero 2000.
- [2] Stephen A. Maas : “How to Model Intermodulation Distorsion”. Dept. Of Electrical Engineering, University of California, Los Angeles, 1991.
- [3] L. Cabria : “Caracterización y modelado pequeña y gran señal de transistores de microondas incluyendo intermodulación, para su utilización en sistemas de comunicaciones de banda ancha”. Proyecto Fin de Carrera (Universidad de Cantabria), 2001.
- [4] J.M.Agüero: “Estudio, caracterización y montaje de técnicas de linealización con transistores FET de microondas para su utilización en sistemas de comunicaciones con requerimientos de baja intermodulación”. Proyecto Fin de Carrera (Universidad de Cantabria), 2001.