

Caracterización en Distorsión de Intermodulación Pequeña Señal de Dispositivos LDMOS de Potencia

P. J. González, L. F. Herrán, J. A. García*, T. Fernández,
DPTO. INGENIERÍA DE COMUNICACIONES. UNIVERSIDAD DE CANTABRIA.
Avda. LOS CASTROS s/n, 39005 SANTANDER. ESPAÑA.

* TTI NORTE, Avda. LOS CASTROS, 1, 39005 SANTANDER, ESPAÑA.
Tel. +34-942-201391, Fax. +34-942-201488, email: pedroj@dicom.unican.es

Abstract

The existence of small-signal intermodulation distortion (IMD) “sweet spots” in RF Power LDMOS devices is accurately predicted through a not previously reported complete characterization of its $I_{ds}(V_{gs}, V_{ds})$ Taylor-series coefficients. A simplified description of transconductance’s derivatives shows to be inaccurate for this kind of devices.

1. Introducción

Los transistores LDMOS (MOSFET’s de difusión lateral) de potencia de RF vienen siendo ampliamente utilizados en transmisores de estaciones base en banda L con importantes requerimientos de alta potencia y elevada linealidad. Se emplean tanto en sistemas con una sola portadora (en clase AB, cerca del punto de compresión de ganancia 1 dB, P_{c1dB}), como en sistemas multiportadora (que requieren una operación altamente lineal, con un back-off en torno a 10 dB).

En este último caso, podemos considerar que se trata de operación “pequeña señal”. En estas condiciones, como se sabe, para realizar estimaciones fiables de intermodulación de tercer orden (la más importante, para niveles de entrada pequeños, suficientemente por debajo del P_{c1dB}), es necesario modelar no sólo las características I-V o Q-V del dispositivo sino también sus tres primeras derivadas [1]. Como es la corriente de drenador $I_{ds}(V_{gs}, V_{ds})$ la no linealidad predominante en este tipo de transistores operando en la región de saturación, debemos extraer cuidadosamente los coeficientes de la serie de Taylor bidimensional de $I_{ds}(V_{gs}, V_{ds})$ para ser capaces de controlar la distorsión de intermodulación.

En el caso de transistores MESFET, ya se ha reportado [2] la existencia de puntos de polarización y condiciones de carga óptimos en términos de distorsión de intermodulación (conocidos como “sweet spots”), detectados usando una caracterización de este tipo. Algunos resultados experimentales confirman que también los LDMOS presentan estos interesantes fenómenos [3], pero no se ha encontrado ningún trabajo sobre el control de la linealidad de estos dispositivos en régimen de pequeña señal (hasta aproximadamente el punto de compresión 1 dB) mediante el comportamiento de las derivadas.

2. Caracterización experimental

Se ha empleado un procedimiento experimental de caracterización del conjunto completo de las derivadas de la fuente de corriente

hasta orden tres (coeficientes de Taylor relativos a la entrada, a la salida y términos cruzados mostrados en la expresión 1) para un transistor LDMOS de potencia MRF3010 de Motorola. El sistema de medida es similar al propuesto por J.C. Pedro en [2].

$$I_{ds}(V_{gs}, V_{ds}) = I_{dsDC}(V_{gsDC}, V_{dsDC}) + G_{m1}.v_{gs} + G_{ds}.v_{ds} + G_{m2}.v_{gs}^2 + G_{md}.v_{gs}.v_{ds} + G_{d2}.v_{ds}^2 + G_{m3}.v_{gs}^3 + G_{m2d}.v_{gs}^2.v_{ds} + G_{md2}.v_{gs}.v_{ds}^2 + G_{d3}.v_{ds}^3 \quad (1)$$

Los resultados de las derivadas más importantes se muestran en la Figura 1, donde se puede apreciar el comportamiento de las mismas con respecto a la tensión de polarización de puerta, V_{gsDC} para una tensión de drenador V_{dsDC} de 28 V.

La transconductancia G_{m1} aumenta rápidamente en torno a la tensión umbral V_{th} , estimada en cerca de 4 V. Luego, presenta una severa compresión en la región de saturación, debida a los efectos del autocalentamiento. Esto está causado principalmente por la reducción de la movilidad de los portadores con el aumento de la temperatura del canal que determina la potencia disipada correspondiente al punto de operación DC y la temperatura ambiente [4].

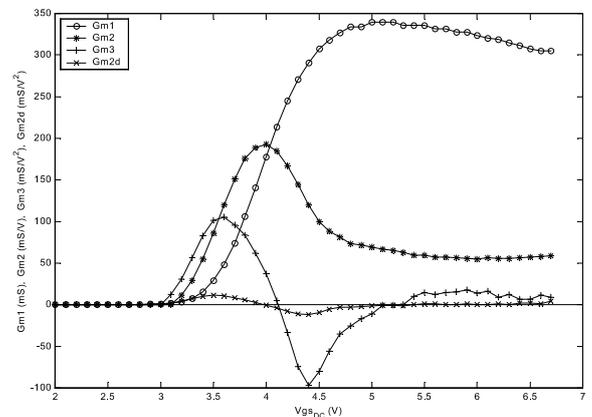


Fig. 1: Derivadas G_{m1} , G_{m2} , G_{m3} and G_{m2d} medidas del LDMOS en función de V_{gsDC} , para $V_{dsDC} = 28$ V.

También es evidente el efecto del autocalentamiento sobre las derivadas de orden superior, $Gm2$ y $Gm3$, que muestran un comportamiento algo diferente del esperado en saturación, pues distan un poco de ser proporcionales a las derivadas numéricas de la transconductancia. Se puede observar que las diferencias se acrecientan a medida que aumenta la tensión de polarización de puerta, y con ella, la corriente de drenador y la temperatura del canal.

Se demuestra así la imposibilidad de obtener estos coeficientes mediante sucesivas diferenciaciones numéricas, y la importancia de incluir los efectos térmicos en este tipo de dispositivos de alta potencia [5],[6], a fin de obtener buenas predicciones de intermodulación.

Hay que destacar la aparición de un nulo del coeficiente $Gm3$ en la zona de alta ganancia, lo que predice la existencia de un sweet spot de intermodulación. Este fenómeno no puede detectarse mediante otras técnicas de caracterización del dispositivo. Otro nulo de $Gm3$ aparece en torno a la tensión umbral, correspondiente a la inflexión de la transconductancia en esa zona.

El alto valor de la transconductancia $Gm1$ en saturación (por encima de 300 mS) puede habilitar al término cruzado $Gm2d$ para que tenga una contribución a la distorsión de intermodulación de tercer orden no despreciable en condición de carga variable, sobre todo para resistencias de carga relativamente altas.

Esto puede provocar que una caracterización simplificada como la propuesta por Maas en [1], consistente en la extracción de las derivadas de la transconductancia ($Gm1$, $Gm2$ y $Gm3$) en un sistema de medida con la condición de carga usual de 50Ω sea incapaz de detectar el paso por cero de $Gm3$, ya que el coeficiente así extraído incluirá la contribución, no despreciable, de otras derivadas. Si bien parece que en el caso de MESFETs, esta contribución es poco importante para resistencias de carga en torno a 50Ω , sí que es apreciable en el caso de transistores LDMOS de potencia, como se puede observar en la Figura 2.

En la Figura 2 se presenta el coeficiente $Gm3$ extraído usando la caracterización simplificada para dos condiciones de carga, $R_L = 10 \Omega$ y $R_L = 50 \Omega$. En el primer caso, el resultado es similar al obtenido con la caracterización completa. En cambio, para $R_L = 50 \Omega$, desaparece el paso por cero de $Gm3$ que indica la presencia de un sweet spot, con lo cual pasaría inadvertido.

De esta forma, la validación de modelos en cuanto a distorsión consistente en la comparación de medidas y predicciones de intermodulación con entrada y salida de 50Ω puede no ser totalmente adecuada para el caso de dispositivos LDMOS de potencia.

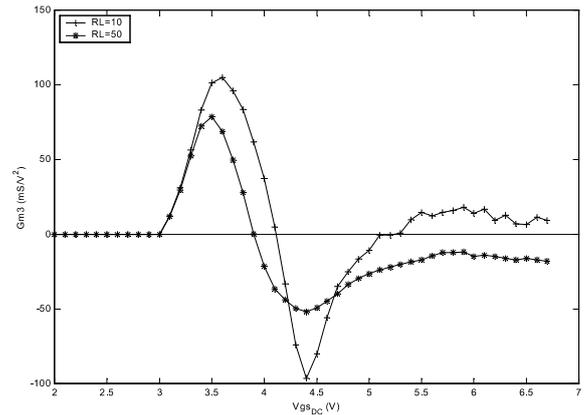


Fig. 2: Coeficiente $Gm3$ medido usando el procedimiento simplificado, para dos condiciones de carga diferentes.

3. Conclusiones

La existencia de puntos óptimos en cuanto a distorsión de intermodulación en transistores LDMOS de potencia puede ser detectada a través de una cuidadosa caracterización del comportamiento de las derivadas de la fuente de corriente $I_{ds}(V_{gs}, V_{ds})$.

Una descripción simplificada, basada únicamente en la extracción de las derivadas de la transconductancia sobre un sistema con impedancia de referencia 50Ω , puede llevar a predicciones erróneas de distorsión de intermodulación, debido a la contribución no despreciable de otras derivadas en esa condición de carga.

4. Referencias

- [1] S. A. Maas and D. Neilson, "Modeling MESFETs for Intermodulation Analysis of Mixers and Amplifiers", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 38, No.12, December 1990.
- [2] J. C. Pedro and J. Pérez: "Accurate Simulation of GaAs MESFET's Intermodulation Distortion Using a New Drain-Source Current Model", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 42, No. 1, January 1994.
- [3] S. R. Novis, L. Pelletier, "IMD Parameters Describe LDMOS Device Performance", Microwaves & RF, July 1998.
- [4] L. F. Herrán, P. J. González, T. Fernández, J. A. García, J. L. García, "Efectos Térmicos en las Características I-V de Transistores LDMOS de Potencia" XIV Symposium Nacional de la URSI, Santiago de Compostela, 1999.
- [5] W. R. Curtice, J. A. Pla, D. Bridges, T. Liang, and E. Shumate, "A New Dynamic Electro-Thermal Nonlinear Model for Silicon RF LDMOS FET's", IEEE MTT-S Digest, Anaheim, 1999.
- [6] J. M. Collantes, P. Bouysse, and R. Quere, "Characterising and Modelling Thermal Behaviour of RF Power LDMOS Transistors", Electronics Letters, Vol. 34, No. 14, July 1998.