

# Sistema de Extracción de Derivadas en Régimen Dinámico para Dispositivos de RF/Microondas

R. Peña

Departamento de Ingeniería de Comunicaciones  
Universidad de Cantabria  
e-mail : roberto.pena@unican.es

J. A. García

Departamento de Ingeniería de Comunicaciones  
Universidad de Cantabria  
e-mail : joseangel.garcia@unican.es

**Abstract- This paper presents a novel measurement system for derivative extraction under dynamic conditions based on the utilization of pulsed signals. This kind of characterization avoids both heating and trapping effects, making possible to realize the extraction process under conditions as close as possible to the device RF behaviour. The system principles and set-up are presented and described in order to provide reliable device modelling. Moreover, results of derivative extraction for a FLL177ME MESFET are presented with the aim of highlighting differences between pulsed and traditional DC characterization.**

## I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de nuevos modelos, más precisos y completos, que permitan reproducir con fidelidad el comportamiento de los dispositivos de RF/microondas no lineales es un punto clave a la hora de conseguir herramientas de diseño cada vez más potentes y fiables.

Tradicionalmente, el conjunto de medidas necesario para la extracción de un modelo a partir de un determinado dispositivo eran realizadas bajo un régimen de operación estático (medidas de DC), lo cual conlleva una serie de inconvenientes que desembocan en inexactitudes del propio modelo; de este modo, la potencia de DC disipada en el dispositivo puede provocar efectos de autocalentamiento, haciendo que la temperatura del mismo no se mantenga constante durante el proceso de caracterización. Asimismo, los dispositivos FET de microondas pueden presentar estados trampa que modifiquen sustancialmente sus características en función de la frecuencia. Además, también es necesario estudiar las zonas de operación no seguras, cerca de los límites de ruptura del dispositivo, con el fin de obtener modelos no lineales que representen con exactitud las condiciones de frontera que puedan ser alcanzadas en regímenes de RF de gran señal.

Todas estas razones han motivado el desarrollo de técnicas de medida basadas en pulsos, y su aplicación en la extracción de curvas  $I(V)$  o parámetros de *Scattering* ha sido propuesta en diversos trabajos hasta la fecha [1]-[3].

En los últimos años, el control y optimización de linealidad a nivel de dispositivo ha suscitado un creciente interés, especialmente aplicado al tratamiento de señales con modulaciones digitales propias de los sistemas de comunicaciones actuales. En consecuencia, la disponibilidad

de un sistema de extracción de derivadas fiable es clave a la hora de realizar una caracterización precisa del comportamiento no lineal de un dispositivo. Además de la distorsión de intermodulación (IMD) de pequeña señal, un conocimiento exhaustivo de las derivadas nos permite predecir el comportamiento no lineal de gran señal [4]. Un modelado fiel de las no linealidades fuertes del dispositivo (zona de corte, conducción de la unión de puerta o región de transición saturación-lineal) es esencial para el proceso de diseño de amplificadores no clase-A. La extracción de derivadas basada en medidas de DC es por tanto inadecuada para simulaciones de RF, debido a la dispersión de baja frecuencia del dispositivo y a los errores asociados a las sucesivas operaciones diferenciales.

El objetivo de este artículo es el de proponer un sistema de extracción de derivadas en régimen dinámico que permita realizar una caracterización realista del comportamiento no lineal de los dispositivos de microondas. Para ello se utiliza un sistema de medidas basado en el uso de pulsos de muy corta duración ( $<5\mu\text{s}$ ) que pueden alcanzar cualquier estado del dispositivo desde un punto de polarización fijo. Dado que esta clase de sistema tiene en cuenta la influencia tanto de los estados trampa como de la temperatura en régimen dinámico, facilita un proceso de caracterización fidedigno bajo unas condiciones de trabajo lo más cercanas posible a la realidad.

## II. SISTEMA DE MEDIDA

Debido a que las constantes de tiempo de los efectos térmicos en transistores FET son muy grandes en comparación con la duración de un ciclo de RF, la temperatura del dispositivo se mantiene constante bajo un régimen de operación dinámico de onda continua, viniendo determinada únicamente por el valor de potencia media disipada en el punto de reposo elegido. Del mismo modo, la duración de los ciclos de RF no es suficiente para permitir que se manifiesten los efectos de emisión o captura de electrones propios de los estados trampa.

Basado en estos principios, el sistema de extracción de derivadas presentado en este artículo permite medir la respuesta no lineal de un dispositivo partiendo de un punto de reposo (DC) y recorriendo todas sus zonas de operación mediante señales pulsadas.

El procedimiento de extracción utilizado en el sistema propuesto está basado en el modelo de Maas & Crosmun

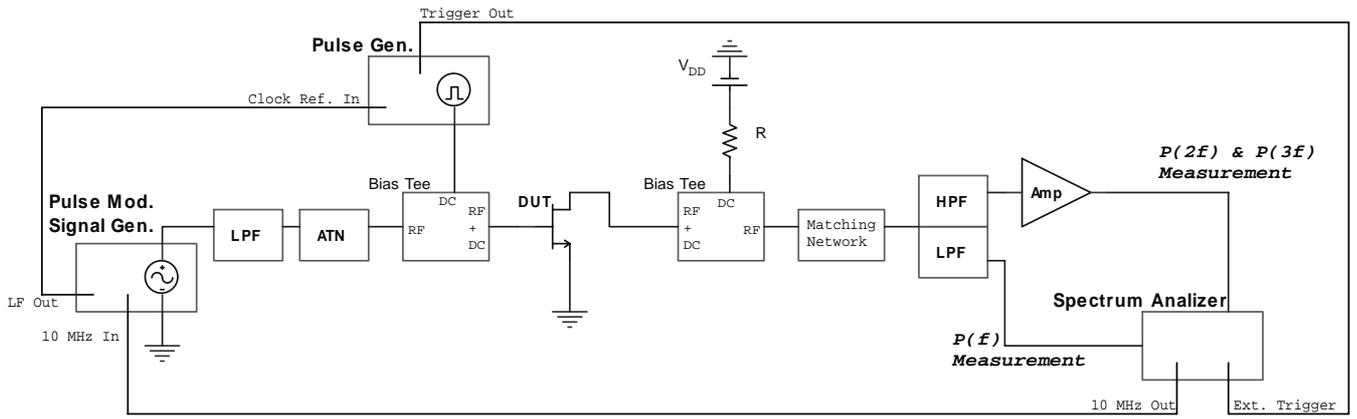


Fig. 1. Sistema de medida pulsada para la extracción de derivadas en dispositivos no lineales.

para la característica  $I/V$  puerta/drenador de dispositivos MESFET [5], que aproxima la fuente de corriente de drenador (principal foco de intermodulación) como muestra la siguiente ecuación:

$$i_{ds} = G_1 v_{in} + G_2 v_{in}^2 + G_3 v_{in}^3 \quad (1)$$

El sistema de medida completo queda conformado como se describe en el diagrama mostrado en la Fig. 1.

El generador de señal situado a la entrada del sistema es el encargado de suministrar una señal de RF modulada por pulsos que llega a la puerta del dispositivo estudiado (DUT) a través de la vía de RF. El nivel de potencia de esta señal en puerta debe ser tal que garantice condiciones de operación de pequeña señal, sin embargo, un nivel de potencia de RF insuficiente puede dificultar las medidas acercándolas en exceso al fondo de ruido del analizador de espectros. Por ello, es necesario alcanzar una solución de compromiso entre ambas restricciones.

El filtro paso-bajo de la entrada garantiza la obtención de una señal libre de espurios, eliminando cualquier posible armónico no deseado procedente del generador, mientras que el atenuador de 10dB situado a continuación se utiliza para mejorar las condiciones de adaptación del lado de puerta.

Una vez obtenida una señal de RF apropiada, se aplica la componente de DC pulsada a través de la T de polarización de puerta, como puede verse en la Fig. 2. El sincronismo entre las señales pulsadas de RF y DC es un aspecto clave para que el proceso de medida sea correcto, siendo necesario ajustar cuidadosamente el retardo de la señal de generador para hacerla coincidir con los pulsos de polarización de forma precisa.

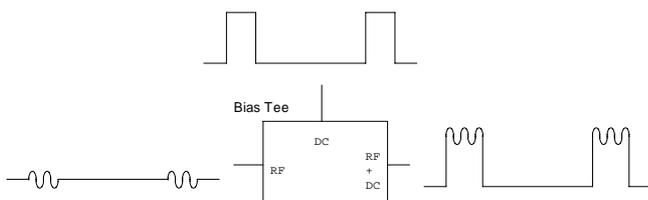


Fig. 2. Combinación de señales pulsadas de excitación y polarización.

Cuanto más estrechos sean los pulsos generados por el sistema, más cerca estaremos del comportamiento real del dispositivo en régimen de RF. La duración de dichos pulsos debe ser menor que las constantes de tiempo de los efectos térmicos y de dispersión, sin embargo, también deben ser suficientemente largos para posibilitar medidas de buena calidad. Además, el *duty-cycle* de la señal pulsada ha de ser tal que asegure que el estado térmico del dispositivo viene dado exclusivamente por el punto de reposo de DC.

Teniendo en cuenta las limitaciones de los equipos de medida disponibles, se fijó para este sistema un ancho de pulso de  $4\mu s$  y un periodo de señal de 10 ms. A pesar de que la utilización de pulsos aún más estrechos podría ser deseable para asegurar la correcta caracterización de algunos dispositivos específicos, los valores seleccionados son perfectamente adecuados para la gran mayoría de FETs utilizados típicamente en sistemas de comunicaciones [6].

Tanto la resistencia  $R$  como la red de adaptación de drenador aseguran que el dispositivo vea impedancias adecuadas a todas las frecuencias de interés (DC,  $f_0$ ,  $2f_0$  y  $3f_0$ ), haciendo posible que la extracción de las derivadas se realice sobre cualquier recta de carga deseada, brindando la posibilidad de seleccionar las condiciones de trabajo más interesantes en cada caso.

Ya a la salida del sistema, la rama paso-bajo del diplexor permite medir directamente la potencia a la frecuencia fundamental, que será utilizada en el cálculo de la primera derivada. Por la otra vía, el filtro paso-alto y un amplificador de alto rango dinámico acondicionan la señal para poder evaluar los niveles de potencia al segundo y tercer armónico, facilitando la extracción de la segunda y tercera derivada respectivamente.

Dado que las señales obtenidas a la salida del sistema son también pulsadas, es evidente que las técnicas habituales de medida del espectro no pueden ser aplicadas en este caso. Por consiguiente, se requiere un equipamiento con capacidad de análisis "time-gated" [7] para extraer el espectro real de la señal de RF a partir de medidas realizadas sobre los pulsos. Esta técnica posibilita la obtención de información espectral de señales en el dominio de la frecuencia estando estas separadas en el dominio del tiempo, ya que permite definir ventanas temporales durante las cuales tienen lugar las medidas. Esta característica hace posible especificar qué parte de la señal debe ser medida, y cual debe ser ignorada, como puede apreciarse en la Fig. 3.

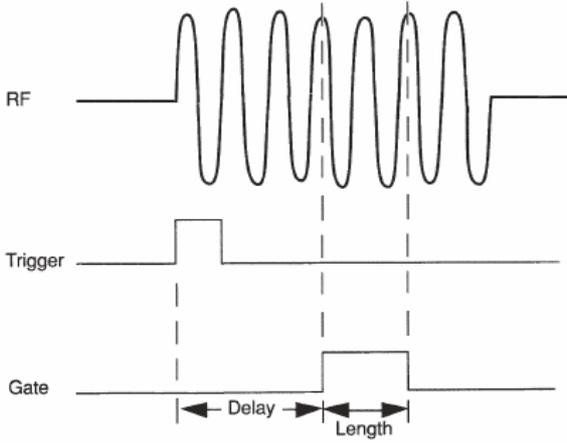


Fig. 3. Técnica "time-gated" de análisis espectral.

### III. RESULTADOS EXPERIMENTALES

La utilidad del sistema de medida propuesto en este artículo se corroboró experimentalmente mediante la caracterización de un dispositivo de potencia MESFET modelo FLL177ME fabricado por Fujitsu.

El proceso completo se llevó a cabo sobre una línea de carga de  $10\Omega$ , ya que en estas condiciones se facilita una excursión máxima de la señal desde la zona de corte hasta la región lineal cuando se utiliza este tipo de dispositivo como amplificador de potencia (PA).

Con el fin de obtener el comportamiento dinámico del transistor estudiado, se llevó a cabo la extracción pulsada de derivadas a partir de un punto de reposo clase-C ( $V_{gs} = -2.5V$ ). Asimismo, el proceso de caracterización tradicional de DC fue también completado con objeto de conocer la respuesta estática de dicho dispositivo. Para ello, se utilizó el mismo sistema de medida que en el caso dinámico, pero manteniendo un nivel de DC constante en puerta, en vez de polarización pulsada.

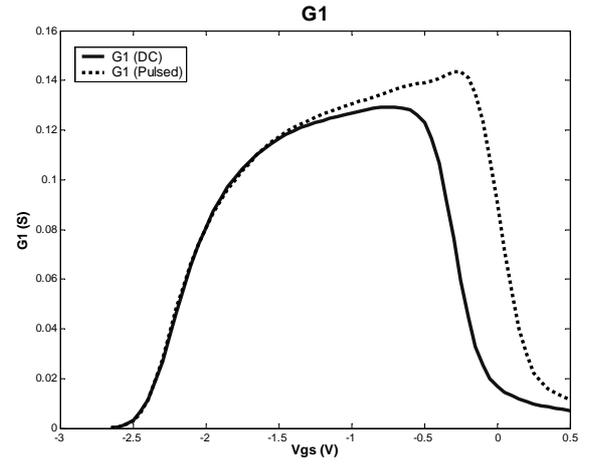
La Figura 4 muestra las series de derivadas obtenidas para las distintas condiciones de medida (DC y pulsada). En vista de estos resultados, no es difícil apreciar diferencias significativas entre la predicción realizada con el método tradicional de DC y el comportamiento real del dispositivo en régimen de RF.

Como se puede observar, las derivadas extraídas muestran una evolución de acuerdo al comportamiento esperado para un dispositivo MESFET [4]. También se puede comprobar que la forma de cada curva es coherente con la de orden inmediatamente anterior, guardando la relación dada por:

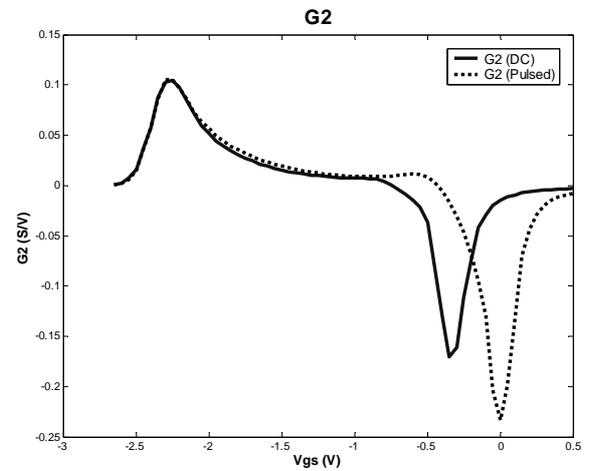
$$G_n = \frac{1}{n} \frac{dG_{n-1}}{dv_{in}} \quad (2)$$

donde  $n$  denota el orden de la derivada.

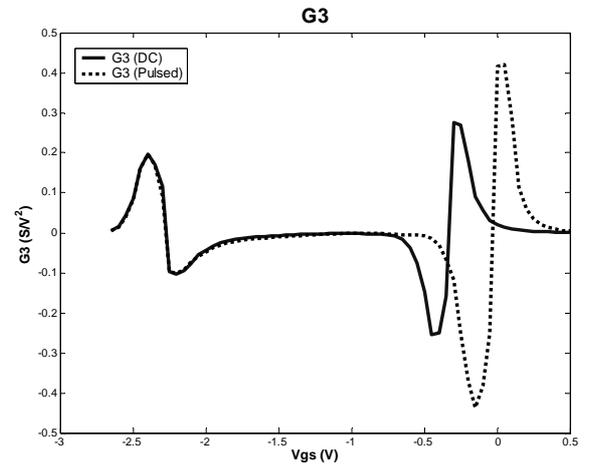
Finalmente, han de ser destacadas las notables variaciones en el comportamiento presentado por el dispositivo en función del régimen de trabajo, especialmente en la zona más cercana a la transición saturación-lineal, como cabría esperar.



(a)



(b)



(c)

Fig. 4. Derivadas de primer (a), segundo (b) y tercer (c) orden extraídas en régimen estático (línea continua) y dinámico (línea discontinua) para un FLL177ME de Fujitsu.

Teniendo en cuenta que esta transición determina la posición del *sweet-spot* de gran señal en modo de operación clase-C, un modelado basado en medidas de DC (única caracterización posible hasta el momento) resulta inapropiado para la estimación de este punto de interés.

#### IV. CONCLUSIONES

El sistema de medida pulsada propuesto en este artículo abre nuevas perspectivas en el campo del modelado de dispositivos no lineales de microondas. Esta nueva técnica puede constituir una herramienta de gran ayuda para la mejora del proceso de extracción de derivadas existente, proporcionando una mayor precisión y fiabilidad de las medidas a la hora de analizar el comportamiento de un dispositivo en régimen de RF. Su eficacia ha sido demostrada mediante la caracterización experimental de un MESFET FLL177ME de Fujitsu, donde se ha observado una notable mejora de las derivadas obtenidas.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está parcialmente subvencionado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCyT) a través de TIC 2002-04084-C03-03. También es fruto de la colaboración entre instituciones europeas en el marco de la NoE TARGET. Además, J. A. García transmite su agradecimiento al programa Ramón y Cajal del MCyT.

#### REFERENCIAS

- [1] J. Scott, M. Sayed, P. Schmitz, and A. Parker, "Pulsed-bias/pulsed-RF device measurement system requirements," *EuMC Dig.*, Cannes, France, 1994, pp. 951-961.
- [2] T. Fernández, Y. Newport, J. M. Zamanillo, A. Tazón, and A. Mediavilla, "Extracting a bias-dependent large-signal MESFET model from pulsed *I/V* measurements," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 44, No. 3, pp. 372-378, Mar. 1996.
- [3] J. P. Teyssier, P. Bouysse, Z. Ouarch, D. Barataud, T. Peyretailade, and R. Quere, "40-GHz/150-ns Versatile pulsed measurement system for microwave transistor isothermal characterization," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 46, pp. 2043-2052, Dec. 1998.
- [4] N. Borges, and J. C. Pedro, "Large- and small-signal IMD behavior of microwave power amplifiers," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, No. 12, pp. 2364-2374, Dec. 1999.
- [5] S. A. Maas, and A. Crosmun, "Modeling the gate *I/V* characteristic of a GaAs MESFET for Volterra-series analysis," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 37, pp. 1134-1136, Jul. 1989.
- [6] A. E. Parker, and J. G. Rathmell, "Bias and frequency dependence of FET characteristics," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 51, No. 2, pp. 588-592, Feb. 2003.
- [7] *Time-Gated Spectrum Analysis: New Measurement Fundamentals*, Agilent Product Note 8590-2.