

# Medida de parámetros de ruido de transistores HEMT a partir de medidas de ruido con fuente adaptada F50

A.Lázaro, L.Pradell, J.M. O'Callaghan  
 Universidad Politécnica de Cataluña (UPC)  
 Dept. TSC, Grupo EEF, Barcelona.

**Abstract-** A new method for measuring the 4 noise parameters (NPs) of a transistor is presented. It is based on the determination of its intrinsic noise matrix elements ( $C_{ij}^{INT}$ ) by fitting the measured device noise figure for a matched source reflection coefficient ( $F_{50}$ ) at a number of frequency points. In contrast to previous works, no restrictive assumptions are made on the intrinsic noise sources.

## I. INTRODUCCIÓN.

Generalmente la medida de los cuatro parámetros de ruido del transistor a frecuencia de microondas se realiza midiendo el factor de ruido de dispositivo de un mínimo de cuatro impedancias de fuente [1-3]. Los métodos basados en sintetizador o tuner tienen los siguientes inconvenientes: (i) Los *tuners* de gran ancho de banda son caros y la medida de factor de ruido para varias impedancias incrementa el tiempo de medida, (ii) Algunos *tuners* no tienen flexibilidad en la selección de los coeficientes de reflexión, dando lugar a resultados dependientes de la constelación seleccionada (2).

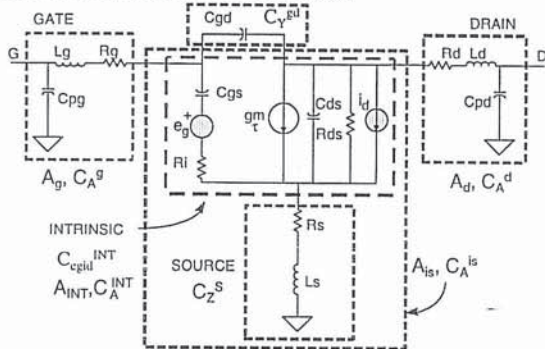


Figura 1: Circuito equivalente incluyendo el modelo de ruido híbrido.

Existen técnicas alternativas de medida de parámetros ruido sin necesidad de utilizar sintetizadores de impedancias. Estas técnicas se basan en la determinación de los elementos de la matriz de correlación intrínseca  $[C^{INT}]$ . La representación en matriz de correlación presenta varias ventajas, por ejemplo, si se utiliza la configuración de fuentes de ruido tensión-corriente o híbrida (como se muestra en la figura 1), la matriz de correlación es prácticamente independiente con la frecuencia [4,7]. A continuación, se presenta una técnica de medida de parámetros de ruido a partir

de medidas de F50 en un número de frecuencias redundante, que a diferencia de las técnicas de medida F50 anteriores [6-7], no necesita realizar aproximaciones simplificadoras en la evolución frecuencial de la matriz de correlación intrínseca

## II. MEDIDA y EXTRACCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RUIDO.

El factor de ruido F50 se mide en un número N de frecuencias en todo el margen frecuencial (2-26 GHz) utilizando la técnica convencional; midiendo las potencias de ruido del transistor con un medidor de ruido para la fuente de ruido en HOT/COLD. El factor de ruido del FET para una impedancia  $Z_s^i$ , puede expresarse en función de la matriz de correlación cadena  $C_A$  (ver fig.1) como:

$$F(Z_s^i) = 1 + \frac{1}{4kT_0 \Delta f \operatorname{Re}(Z_s^i)} \cdot \begin{bmatrix} 1 & Z_s^{i*} \\ & 1 \end{bmatrix} \cdot C_A \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ Z_s^i \end{bmatrix} \quad (1)$$

$C_A$  puede dividirse en dos contribuciones: la extrínseca  $C_A^{EXT}$  y la intrínseca  $C_A^{INT}$ .

$$C_A^{EXT} = C_A^g + (\Lambda_g \Lambda_{is}) C_A^d (\Lambda_g \Lambda_{is})^+ + (\Lambda_g P_{ZA}) C_Z^s (\Lambda_g P_{ZA})^+ + (\Lambda_g P_{ZY}) C_Y^{gd} (\Lambda_g P_{ZY})^+ \quad (2-4)$$

$$C_A^{INT} = P \cdot C_{egid}^{INT} \cdot P^+, \quad P = \Lambda_g P_{ZA} P_{YZ} P_{INT} \quad (2-4)$$

$$P_{INT} = \begin{bmatrix} -Y_{11}^{INT} & 0 \\ -Y_{21}^{INT} & 1 \end{bmatrix}$$

donde  $C_A^{EXT}$  y las matrices de conversión  $P_{ij}$ , dependen únicamente de los parámetros S y de la temperatura ambiente [5,8]. La matriz de correlación intrínseca  $C_{egid}^{INT}$  se supone que puede expresarse linealmente en frecuencia (aunque pueden considerarse polinomios de orden superior):  $C_{ij}^{INT} = C_{ij}^0 + C_{ij}^1 \cdot f$ . Sustituyendo en (1-4) se obtiene el siguiente sistema lineal [8]:

$$[y_i] = [M] \cdot [X] \quad i = 1 \dots N \quad (5-6)$$

$y_i = 4kT_0 \Delta f \cdot (F(Z_s^i) - 1) \cdot \operatorname{Re} Z_s^i - \begin{bmatrix} 1 & Z_s^{i*} \\ & 1 \end{bmatrix} \cdot C_A^{EXT} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ Z_s^i \end{bmatrix}^T$   
 donde  $[X] = [C^0] + [f_i][C^1]$ ,  $[C^k] = [C_{11}^k, C_{22}^k, \operatorname{Re} C_{12}^k, \operatorname{Im} C_{12}^k]^T$ ,  $k = 0, 1$ . El proceso de ajuste divide el problema de optimización multivariable anterior en subproblemas con uno o dos parámetros a optimizar. Se empieza estimando los elementos de mayor sensibilidad  $C_{ij}^0$  mediante regresión por mínimos cuadrados utilizando el método de la pseudo inversa. Los valores de  $C_{ij}^0$  obtenidos se utilizan como valores iniciales en el algoritmo Simplex que estima  $C_{ij}^0$  y  $C_{ij}^1$  ajustando el F50 medido al F50 calculado (1). Notar que puede utilizarse otras configuraciones de fuentes intrínsecas modificando la matriz  $P_{INT}$  (4) (por ejemplo, en el modelo admitancia tomando  $P_{INT}$  la identidad, y suponiendo que  $C_{11}^{INT} = C_{11}^2 \cdot f^2$ ).

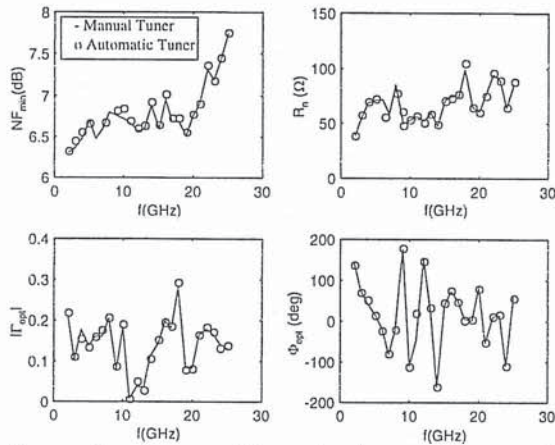


Figura 2: Comparación entre los parámetros de ruido del receptor medido con el *tuner* "manual" (-) y con *tuner* automático (o).

### III. RESULTADOS EXPERIMENTALES.

Para la calibración del receptor se utiliza técnicas de medidas con sintetizador [1-3]. Dado que este está generalmente adaptado y por tanto,  $|\Gamma_{opt}|$  es pequeño, las técnicas de medida de parámetros de ruido basados en sintetizador proporcionan buenos resultados. Además no requieren utilizarse costosos *tuners* automáticos ya que puede utilizarse un *tuner* "manual" formado por impedancias coaxiales y coplanares *on-wafer* (pej, cortocircuitos, cargas, atenuadores, y tramos de líneas coplanares) disponibles en el laboratorio. En la figura 2 se comparan los parámetros de ruido del receptor utilizando el *tuner* "manual" y un *tuner* automático [3]. En la figura 3.a se muestra el ajuste obtenido entre el factor de ruido F50 medido y calculado mediante (1). Se aprecia que la diferencia obtenida está dentro de la precisión de medida  $\pm 0.15-0.2$  dB RSS. Se ha comprobado que la incorporación del término de correlación  $C_{12}^{INT}$  y la pendiente frecuencial en  $C_{22}^{INT}$  mejora el ajuste del factor de ruido F50. En la figura 3.b-d se comparan los parámetros de ruido de un HEMT de  $0.3 \mu m$  de longitud de puerta utilizando el método de F50 presentado y los parámetros de ruido utilizando el sistema comercial NPTS [3] basado en técnicas con sintetizador [2].

### IV. CONCLUSIONES.

Se ha presentado un método alternativo de medida de parámetros de ruido para transistores FET basado en medidas de factor de ruido F50 sin necesidad de suponer aproximaciones simplificadas en el modelo de ruido. Para la calibración del receptor se ha substituido el *tuner* automático por un *tuner* manual compuesto por impedancias fácilmente disponibles en el laboratorio.

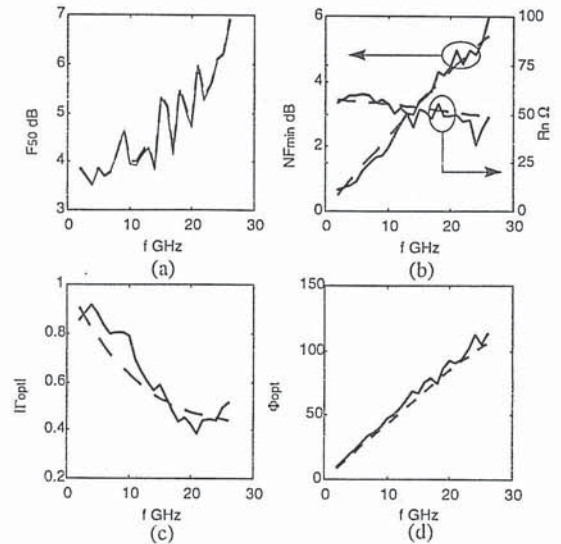


Figura 3: a Comparación entre el factor F50 medido (-) y ajustado (-). b-d Comparación entre los parámetros de ruido medidos con F50 (-) y con el sistema comercial NPTS [4] (-).

**Agradecimientos:** Este trabajo ha sido financiado por los proyectos de investigación CICYT TIC-672-C04-03/93 y TIC-1129-C04-04/97.

### REFERENCIAS:

- [1] R.Q. Lane, "The Determination of device noise parameters". *Proc. IEEE*, Vol. 57, pp. 1461-1462, 1969.
- [2] A.C. Davidson, B.W. Leake, E. Strid, "Accuracy improvements in microwave noise parameter measurements". *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech*, Vol.37, No.12, pp. 1973-1978, 1989
- [3] NPTS-26 System, Cascade-Microtech, Inc., 14255 SW Brigadoon, Beaverton, OR 97005.
- [4] R.A. Pucel, "A general noise de-embedding procedure for packaged two-port linear active devices", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, Vol.40, No.11, pp. 2013-2020, 1992.
- [5] H. Hillbrand, P.H. Russer, "An efficient method for computer aided noise analysis of linear amplifier networks", *IEEE Trans. on Circuits and Systems*, Vol. 23, No.4, pp. 235-238, 1976.
- [6] G. Dambrine, et al., "A new method for on wafer noise measurement", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, Vol.41, No.3, pp. 375-381, 1993.
- [7] P.J. Tasker, et al., "Direct extraction of all four transistor noise parameters using a  $50 \Omega$  measurement system", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp.*, 1993.
- [8] A.Lázaro, A.Beltrán, L.Pradell, J.M. O'Callaghan, "Direct extraction of all four transistor noise parameters from  $50 \Omega$  noise figure measurements", *IEE Electronics Letters*, Vol.34, No.3, pp. 289-291, 1998.