

ACERCA DE LAS CAPACIDADES NEGATIVAS DRENADOR-FUENTE OBSERVADAS EN LOS MESFETS Y HEMTS DE MICROONDAS

Jaime Esteban Marzo, Teresa María Martín Guerrero^(*),
Beatriz del Castillo Vázquez^(*), Carlos Camacho Peñalosa^(*)

Departamento de Electromagnetismo y Teoría de Circuitos. E.T.S.I. de Telecomunicación.
Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid. j.esteban@etc.upm.es

^(*) Departamento de Ingeniería de Comunicaciones. E.T.S.I. de Telecomunicación.
Universidad de Málaga, Campus de Teatinos, 29071 Málaga. teresa@ic.uma.es

RESUMEN

Mediante la caracterización de una línea de transmisión multiconductora, con la que se modela el FET 'frío', se ha estudiado el origen de la capacidad negativa entre drenador y fuente, ampliamente observada en MESFETs y HEMTs. La conclusión es que este fenómeno puede ser explicado coherentemente mediante la inclusión en la admitancia entre drenador y fuente, Y_{ds} , de una componente inductiva.

1. INTRODUCCIÓN

Para condiciones de polarización de dispositivos FET de microondas que impliquen pequeñas tensiones de drenador y altas tensiones de puerta la capacidad observada entre drenador y fuente, C_{ds} , es negativa. Se han confirmado valores negativos de C_{ds} mediante la simulación física del dispositivo [1-2]. Asimismo el modelado conjunto de dispositivos escalables, con los que es posible una extracción fiable de los parásitos, ha llevado también a obtener capacidades negativas en MESFETs 'fríos' o bajo pequeñas tensiones de polarización de drenador [1,3,4]. El objetivo de este trabajo es estudiar el posible origen de los valores negativos de C_{ds} .

2. MODELO ELECTROMAGNÉTICO DEL DISPOSITIVO

Un FET (con $V_{DS}=0$) pueden considerarse como un tramo corto de una línea de transmisión multiconductora no homogénea con fuertes pérdidas tanto en los conductores como en los dieléctricos. Se ha analizado un medio de transmisión cuya sección transversal se muestra en la figura 1. La técnica de caracterización utilizada ha sido un método de ajuste de campo, similar al propuesto por Heinrich y Hartnagel [5]. Sin embargo en este trabajo no sólo se han calculado las constantes de propagación de los modos casi-TEM, sino también sus campos. A partir de ellos se obtienen las corrientes que circulan por los conductores, así como las tensiones entre ellos y, haciendo uso de la teoría de líneas, los parámetros primarios, es decir, las matrices de admitancias paralelo e impedancias serie por unidad de longitud.

Puesto que los valores típicos de anchura de puerta (es decir, longitud del tramo de línea) son una pequeña fracción de las longitudes de onda de los modos, los elementos del circuito equivalente del dispositivo no son sino los parámetros primarios de la línea multiconductora multiplicados por la anchura de puerta. Cuando la fuente está conectada a la metalización del sustrato y para una anchura de puerta de $50 \mu\text{m}$, el resultado de este análisis es, para la admitancia Y_{ds} , el mostrado en la figura 2.

El comportamiento resonante sugiere la existencia de componentes capacitivos e inductivos. De hecho el circuito equivalente de la figura 3 produce idéntica respuesta. Se trata de una topología con cinco componentes, aunque con sólo cuatro parámetros, debido a que hay un único tiempo de relajación, $\tau=LG=RC$.

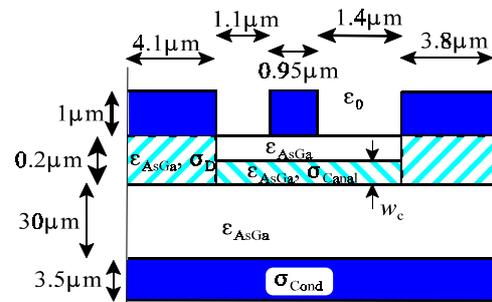


Figura 1.- Sección transversal (no a escala) de la línea de transmisión para modelar dispositivos tipo FET: $\epsilon_{AsGa}=13\epsilon_0$, $w_c=0.1 \mu\text{m}$, $\sigma_D=10^5 \text{ S/m}$, $\sigma_{Cond}=3 \cdot 10^7 \text{ S/m}$, $\sigma_{Canal}=10^3 \text{ S/m}$.

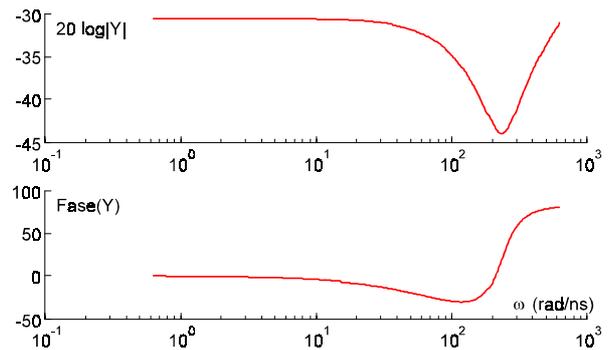


Figura 2.- Diagrama de Bode de la admitancia drenador-fuente.

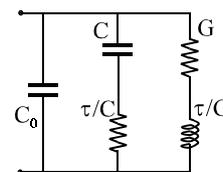


Figura 3.- Cto. equivalente para la admitancia drenador-fuente.

El diagrama de Bode también muestra cómo, para frecuencias

inferiores a la de resonancia, la admitancia Y_{ds} se comporta como una conductancia de valor G en paralelo con una capacidad negativa, de valor $(C_0+C)-LG^2$. La capacidad 'efectiva' entre drenador y fuente es, pues, negativa, pero su origen es la presencia de una componente inductiva, asociada a la conductancia del canal.

3. RESULTADOS TEÓRICOS Y EXPERIMENTALES

El comportamiento típico de la capacidad C_{ds} en función de la tensión V_{GS} se muestra en la figura 4 [3] donde se puede comprobar que, en condiciones de pinch-off o cercanas al pinch-off, la capacidad C_{ds} es positiva y, a medida que V_{GS} crece, la capacidad decrece, se anula, y se hace más y más negativa mientras, simultáneamente, la conductancia G_{ds} crece.

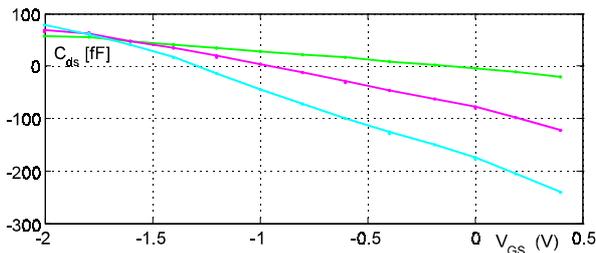


Figura 4.- Capacidad C_{ds} en función de V_{GS} para tres MESFET 'fríos' con diferentes anchuras de puerta (25, 50 y 75 μm).

Se han simulado diferentes tensiones de puerta para un mismo FET 'frío' modificando el espesor del canal no vaciado (w_c en la figura 1). La conductancia obtenida es, como cabría esperar, linealmente proporcional a dicho espesor. El comportamiento del tiempo de relajación τ del circuito equivalente de la admitancia Y_{ds} es tal que el término $LG^2=\tau G$, responsable de la capacidad negativa, crece con w_c , como se muestra en la figura 5 y, por tanto, con la tensión de polarización de puerta, lo que conduce al comportamiento descrito de la capacidad negativa.

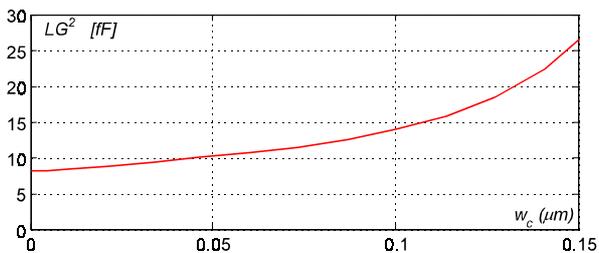


Figura 5.- Término LG^2 en función del espesor del canal.

Por otra parte se han obtenido valores negativos de la capacidad C_{ds} a partir de medidas en pequeña señal de dispositivos HEMT. La figura 6 muestra el diagrama de Bode de la admitancia Y_{ds} , tras extraer los elementos parásitos, de un HEMT 'frío' para una tensión de puerta concreta. Se observa en la figura que el comportamiento de la fase ha de asociarse a una capacidad negativa si se emplea una conductancia en paralelo con una capacidad para modelar la admitancia. También queda claro que, con la misma precisión, un modelo más consistente de esta admitancia es el del circuito equivalente obtenido del análisis electromagnético (figura 3).

4. CONCLUSIONES

Los valores negativos de la capacidad C_{ds} observados en dispositivos de microondas tipo FET parecen surgir del uso de

modelos incompletos. Se ha llevado a cabo un análisis electromagnético de un modelo de línea de transmisión multiconductora para un dispositivo 'frío', lo que ha conducido a resultados similares a los del artículo clásico de Hauser [6], a saber, que existe una componente inductiva en la rama entre drenador y fuente, y que esa inductancia es la que explica los valores negativos de la capacidad C_{ds} de un modelo simple C//G. Estas conclusiones también concuerdan con las de Ma et al. [7], en el sentido de que la capacidad negativa observada en dispositivos semiconductores puede tener su origen en un efecto inductivo, al ser el resultado de medir un circuito resonante solamente a frecuencias por debajo de su frecuencia de resonancia.

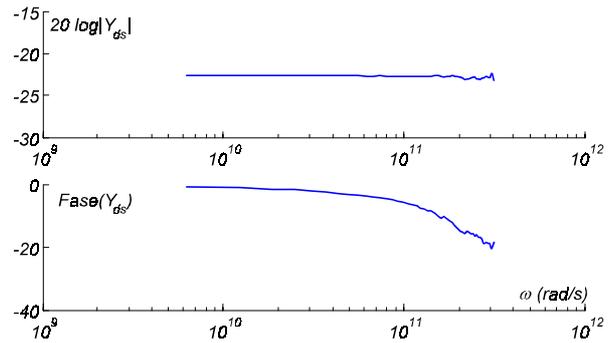


Figura 6.- Diagrama de Bode de la admitancia entre drenador y fuente en un HEMT, para una cierta tensión de puerta.

5. REFERENCIAS

- [1] R. Anholt, "Electrical and Thermal Characterization of MES-FETs, HEMTs and HBTs", Artech House, 1995.
- [2] G. Ghione, C.U. Naldi, and F. Filicori, "Physical Modeling of GaAs MESFET's in an Integrated CAD Environment: From Device Technology to Microwave Circuit Performance", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-37, No.3, pp. 457-468, March 1989.
- [3] B. Castillo-Vázquez, "Modelo distribuido escalable no cuasi-estático para dispositivos monolíticos tipo FET de microondas y milimétricas" Tesis Doctoral, Universidad de Málaga, 1999.
- [4] D. Siriex, O. Noblanc, D. Barataud, E. Chartier, C. Brylinski, and R. Quéré, "A CAD-Oriented Nonlinear Model of SiC MESFET Based On Pulsed I(V), Pulsed S-Parameters Measurements", IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 46, No. 3, pp. 580-584, March 1999.
- [5] W. Heinrich, and H. Hartnagel, "Wave Propagation on MES-FET Electrodes and its Influence on Transistor Gain", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. 35, No.1, pp. 1-8, January 1987.
- [6] J.R. Hauser, "Small signal properties of field effect devices", IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-12, No. 12, pp. 605-618, December 1965.
- [7] J.-G. Ma, K.-S. Yeo, and M.-A. Do, "Comments on 'Negative Capacitance Effect in Semiconductor Devices'", IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 46, No. 12, pp. 2357-2358, December 1999.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Prof. G. Leuzzi (Universidad de Roma 'Tor Vergata', Italia) la aportación de medidas experimentales. También se agradece a la CICYT y al MCYT el soporte financiero, a través de los proyectos TIC98-1027 y HI1999-0218, respectivamente.