

# MEZCLADORES SIMPLEMENTE BALANCEADOS USANDO UN DISPOSITIVO E-PHEMT SIN POLARIZACIÓN

José A. García, E. Malaver, L. Cabria, C. Gómez

Departamento de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Cantabria.

Avda. Los Castros s/n 39005 Santander

e-mail : [joseangel.garcia@unican.es](mailto:joseangel.garcia@unican.es)

**Abstract-** Two zero-bias single-device singly-balanced mixers, using an Enhancement Mode Pseudomorphic HEMT (E-PHEMT), are proposed in this paper. The first mixer takes advantage of the time-varying output conductance of the device, when excited at gate with a local oscillator (LO) signal, while the other uses the time-varying transconductance produced by a drain-to-source LO excitation.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha producido un fuerte desarrollo de los sistemas automáticos de identificación, y muy en particular de aquellos que permiten una operación sin necesidad de contacto físico con el objeto o persona. Entre las diversas soluciones existentes, caben destacar los sistemas de identificación vía radio (RFID), en los cuales se hace uso de un transpondedor (la etiqueta electrónica) que es interrogado mediante un haz de RF o microondas. Dicho haz hace que el transpondedor emita una señal de respuesta, usualmente codificada.

Los sistemas RFID se clasifican según la técnica utilizada para generar la señal de respuesta, siendo lo más común la reflexión (“backscattering”) de la señal de interrogación, con una modulación por la señal de datos ya sea en amplitud [1], simple banda lateral [2] u otra técnica. Este tipo de soluciones, aunque simples, conllevan una serie de limitaciones asociadas a la utilización por la señal de respuesta de la misma frecuencia empleada en la interrogación.

La evolución hacia sistemas de control con altas prestaciones, implica la necesidad de utilizar formatos complejos en la generación de la señal de respuesta [3]. Sin embargo, esta evolución choca con las restricciones que impone la necesidad de minimizar o evitar el consumo de potencia de DC por parte del transpondedor. La introducción de funciones de traslación de frecuencia constituye una pieza clave en esta evolución, algo que ha estado limitado al uso de mezcladores no polarizados a diodos.

Este tipo de mezclador tiene una serie de desventajas por todos conocidas, como el nivel de potencia de oscilador local (OL) necesario para asegurar un funcionamiento adecuado, la mala figura de ruido o la pobre linealidad, lo que unido a

las pérdidas de conversión determinan una fuerte restricción en la distancia de interrogación que es posible alcanzar por los sistemas que le usan.

Los mezcladores a FET clásicos, sin embargo, podrían ofrecer una elevada linealidad, menor figura de ruido e incluso ganancia, pero a cambio de consumo o al menos de polarización en DC. Es evidente que esta última característica ha frenado su introducción en estas aplicaciones.

En este artículo, se proponen dos mezcladores simplemente balanceados basados en un dispositivo E-PHEMT sin polarizar. Uno de ellos funciona como mezclador resistivo mientras el otro aprovecha las propiedades típicas de los mezcladores por drenador. Ambos se basan en una topología similar, y podrían ser utilizados en transpondedores de RF simples o en arrays con elevadas prestaciones.

## II. FUNDAMENTOS DE OPERACIÓN DE LOS MEZCLADORES A FET

Los mezcladores a FET fundamentan su operación en lograr que el OL provoque la máxima variación posible de un parámetro del circuito equivalente de primer orden del dispositivo [4]. En mezcladores por puerta activos, resulta determinante la variación de la transconductancia ( $G_m$ ), papel que desempeña la conductancia de salida ( $G_{ds}$ ) en los mezcladores resistivos. Un análisis de la evolución de ambos parámetros con las tensiones de polarización puerta-fuente y drenador-fuente, nos revela de manera inmediata tanto el principio de operación como los puntos óptimos de polarización para cada tipo de mezclador a FET. En la Fig. 1 se representan, a modo de ejemplo, los valores de  $G_m$  y  $G_{ds}$  extraídos para un transistor PHEMT típico de depleción (NE3210s01).

Operando en la región de saturación, se observa que una variación máxima de  $G_m$  con la tensión puerta-fuente es evidente alrededor del valor de pinch-off en  $V_{GS}$ . Algo parecido le ocurre a la dependencia de  $G_{ds}$  con  $V_{GS}$  cuando el dispositivo es polarizado en  $V_{DS} = 0V$ . Los mezcladores por puerta activo y resistivo deberían entonces operar en esas condiciones, algo que nadie cuestiona hoy en día.

Sin embargo, esta idea de una máxima variación en un parámetro de primer orden alrededor del pinch-off puede ser también aplicada a otras estructuras mezcladoras, como el mezclador por drenador activo, el cual usualmente aprovecha el cambio significativo que presenta  $G_m$  con  $V_{DS}$  en la parte alta del codo. Si considerásemos dicha región en términos de la tensión puerta-drenador, resultaría evidente que se corresponde al valor de pinch-off de la misma.

Esta variación que experimenta  $G_m$  alrededor del pinch-off en  $V_{GD}$ , nos sugiere la posibilidad de explotarla en otra dirección, perpendicular a su eje. Un movimiento de tal naturaleza con la señal de oscilador local es posible si se aplica la misma por el terminal de fuente, algo sugerido por los autores en [5].

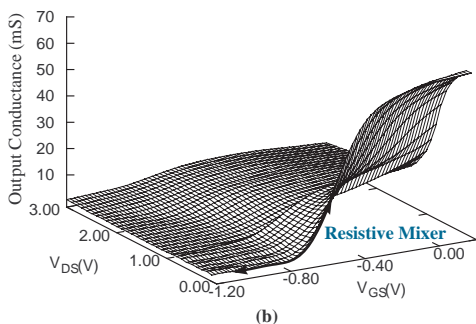
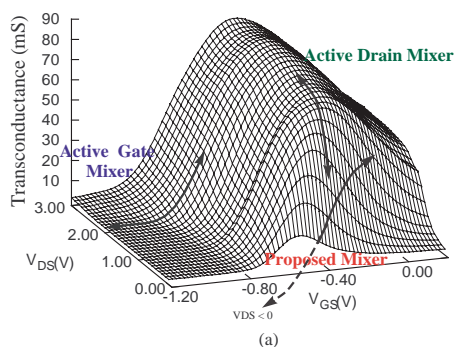


Fig. 1. Superficies de a)  $G_m$  y b)  $G_{ds}$  en el PHEMT NE3210s01. Las regiones de operación de los diferentes tipos de mezcladores han sido destacadas.

Este tipo de mezclador, digamos atípico, sería simplemente análogo al propuesto en [6], donde se aplicaba el OL por drenador mientras que se polarizaba al dispositivo en  $V_{GS} = V_p$ .

Se puede concluir entonces, que un rasgo común de la operación de cualquier mezclador a FET es la polarización del dispositivo en la región de pinch-off para lograr una mejor eficiencia de conversión. La ubicación exacta del punto de trabajo óptimo depende del nivel de potencia de OL. Para niveles pequeños este punto coincide con el punto de máxima variación del parámetro de primer orden (pico de la derivada de segundo orden correspondiente); mientras que al aumentar la potencia de bombeo, el punto se convierte en una zona ancha que se desplaza hacia tensiones por debajo del pinch-off.

### III. CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE OPERACIÓN DE LOS TRANSISTORES E-PHEMT

Los dispositivos PHEMT pseudomórficos de enriquecimiento son dispositivos que normalmente no conducen, y que tienen una tensión de pinch-off ligeramente positiva, tal y como se muestra en la Fig. 2 para el ATF54143 de Agilent Semiconductors.

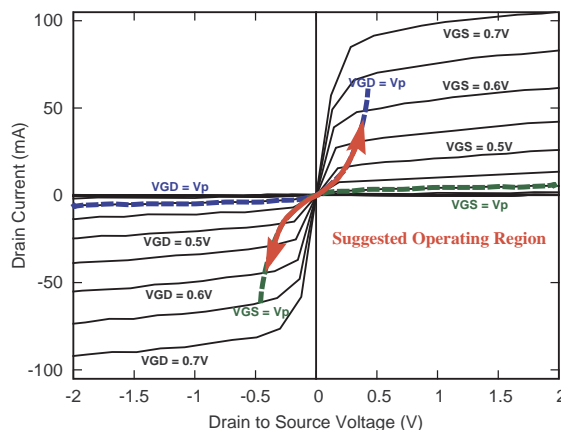


Fig. 2. Característica I/V en DC para un dispositivo E-PHEMT típico (ATF54143). La región de operación deseada para el mezclador con ganancia de la Sección IV ha sido destacada.

Si consideramos esta característica y la conclusión derivada al final de la sección anterior, resulta interesante prever que la tensión óptima de operación de los mezcladores E-PHEMT coincidirá, para cierto rango de potencia de OL, con el valor  $V_{GS} = 0V$ . Si consideramos que ciertas clases de mezcladores fundamentan también su operación en  $V_{DS} = 0V$ , el diseño de estructuras mezcladoras sin polarización de DC parece ser factible con estos dispositivos, algo de gran interés en aplicaciones RFID.

### IV. MEZCLADORES SIMPLEMENTE BALANCEADOS CON UN DISPOSITIVO E-PHEMT

Los mezcladores balanceados resultan atractivos en tanto permiten el rechazo de un buen número de componentes de mezcla no deseadas. Su funcionamiento correcto depende de las diferencias que puedan existir entre los parámetros de los dispositivos utilizados [4], algo difícil de garantizar por ejemplo en tecnología híbrida.

Recientemente, un mezclador simplemente balanceado usando un solo dispositivo FET fue propuesto en [7]. La minimización de las componentes de frecuencia indeseadas se logró de una manera sencilla mediante el uso de un híbrido de  $180^\circ$  para conectar los terminales de fuente y drenador al puerto RF/IF de señal.

#### A. Mezclador simplemente balanceado resistivo

Una de las estructuras sugeridas en [7] fue diseñada e implementada usando el ATF54143 (ver Fig. 3). Se buscaba lograr un mezclador resistivo simplemente balanceado sin necesidad de polarización, capaz de ser utilizado como

conjugador de fase en cada elemento de un array retrodirectivo [8]. En dicha aplicación, una señal de OL con una frecuencia  $f_{OL}=2f_{int}+\Delta f$  sería aplicada en el terminal de puerta, para convertir una señal RF de interrogación ( $f_{int}$ ) aplicada al híbrido  $180^\circ$  desde la antena en una señal respuesta ( $f_{resp}=f_{OL}-f_{int}=f_{int}+\Delta f$ ) en la misma banda, señal que sería transmitida desde la propia antena con fase opuesta.

Las características principales de este mezclador fueron medidas para diferentes potencias de oscilador local ( $f_{LO}=1.8GHz$ ), variando la tensión de polarización en puerta  $V_{gg}$  entre 0 y 0.7V. Como señal de interrogación se utilizó un generador a  $f_{int}=890MHz$ .

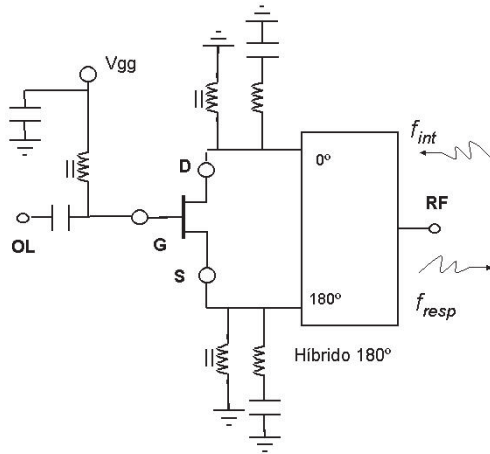


Fig. 3. Diagrama simplificado del mezclador resistivo simplemente balanceado.

Para niveles de OL pequeños, el punto de polarización con mínimas pérdidas de conversión aparece en  $V_{GS}\approx 0.3V$ , valor que se corresponde con la tensión de pinch-off del transistor (ver Fig. 2). Para valores superiores en la potencia de OL, el sitio óptimo de polarización se abrió, desplazándose hacia valores de  $V_{GS}<V_p$ . Para un nivel de OL de 1dBm, se alcanzó en  $V_{GS}=0V$  la mejor eficiencia de conversión, resultando en un valor de pérdidas igual a 6.5 dB, valor típico en estas estructuras [4].

### B. Mezclador simplemente balanceado con ganancia de conversión

Usando una topología similar a la anterior pero modificando los valores de los elementos reactivos y la selección de puertos de señal, se diseñó e implementó un mezclador simplemente balanceado que fuera capaz de combinar una operación cercana a  $V_{GD}\approx V_p$  para  $V_{DS}>0V$  y  $V_{GS}\approx V_p$  para  $V_{DS}<0V$ .

En este caso se deseaba lograr un mezclador capaz de convertir una señal de datos de baja frecuencia local ( $f_d$ ) en una señal RF de respuesta ( $f_{resp}=f_{OL}+f_d$ ) a ser transmitida por la antena una vez que en ella se reciba una señal portadora de interrogación ( $f_{OL}$ ).

Se realizaron medidas a diferentes niveles de OL ( $f_{OL}=800MHz$ ), barriendo en cada caso la tensión  $V_{gg}$ . En la Fig. 4 se presentan los resultados de ganancia de conversión y de adaptación de OL obtenidos frente a  $V_{GS}$  para 6 niveles de bombeo diferentes. Como señal de datos se utilizó una

señal con un valor extremo de frecuencia,  $f_d=150MHz$ , definida por el rango de operación del transformador (balun) utilizado.

Se verificó en este caso también que el punto de conversión óptima se desplaza a la izquierda con la potencia de OL. La posibilidad de usar un E-PHEMT sin polarizar ( $V_{GS}=V_{DS}=0V$ ) para obtener ganancia de conversión se hizo evidente para un nivel de OL por encima de 3 dBm. Las mejores características de conversión y adaptación de OL se obtuvieron sin embargo para una potencia de OL de unos 10 dBm.

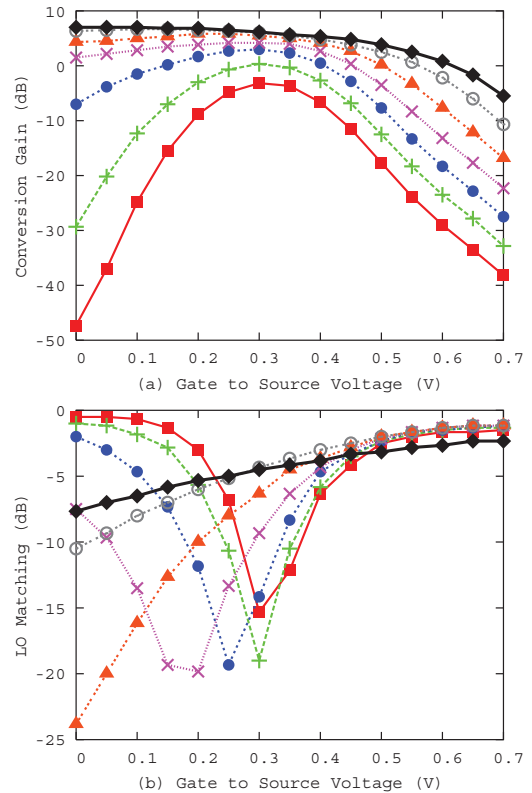


Fig. 4. Ganancia de conversión y adaptación de OL @  $P_{OL} =$  (■) -10dBm, (+) -5dBm, (●) 0dBm, (×) 5dBm, (▲) 10dBm, (○) 15dBm y (◆) 20dBm.

Dada las particularidades de la adaptación de OL en este mezclador, se realizó un segundo diseño ya sin alimentación DC, prestándole especial atención a la optimización de este parámetro.

En la Fig. 5 se presenta una imagen de esta última estructura, donde se ha denotado como puerto de IF a aquel donde se aplicaría la señal de datos generada localmente en el transpondedor.

Para este caso se obtuvo una ganancia de 4.17 dB y una adaptación de 23.3 dB al OL. Se realizaron medidas del punto de compresión y de linealidad. Aunque sin llegar a alcanzar los valores que se pueden obtener en un mezclador resistivo, los resultados fueron satisfactorios:  $P_{1dB}=2.3 dBm$  y  $OIP3=14.5 dBm$ .

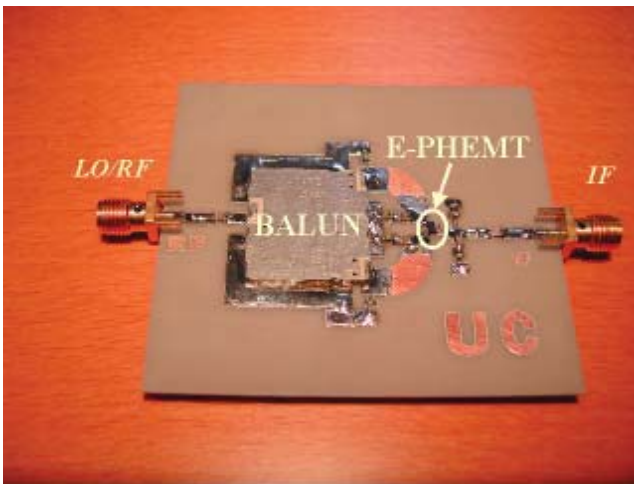


Fig. 5. Fotografía del mezclador diseñado.

## V. CONCLUSIONES

En este artículo se han propuesto dos mezcladores simplemente balanceados capaces de ofrecer unas buenas características de funcionamiento usando un solo dispositivo E-PHEMT sin polarizar. El mezclador de tipo resistivo resulta atractivo para su aplicación como conjugador de fase en arrays retrodirectivos, mientras que el mezclador con ganancia es apropiado para conformar la señal de respuesta a partir de una señal de datos local a un transpondedor de RFID y de la señal de interrogación recibida.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por los Proyectos TIC2000-0401-P4-09 y TIC2002-04084-03-C03 del Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCyT). José Angel García agradece además al Programa Ramón y Cajal del mismo Ministerio.

## REFERENCIAS

- [1] "An automatic vehicle ID system for toll collecting," Lawrence Livermore National Laboratory, Rep. No. UCRL-TB-113409, Apr. 1993.
- [2] T. Ohta, H. Nakano, and M. Tokuda, "Compact microwave remote recognition system with newly developed SSB modulation," *1990 IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 957-960, June 1990.
- [3] C. W. Pobanz and T. Itoh, "A microwave noncontact identification transponder using subharmonic-interrogation," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-43, no. 7, pp.1673-1679, July 1995.
- [4] S. A. Maas, *The RF and Microwave Circuit Design Handbook*, Boston: Artech House, 1998.
- [5] J. A. García, J. C. Pedro, M. L. De la Fuente, N. B. Carvalho, A. Mediavilla, and A. Tazón, "Resistive FET mixer conversion loss and IMD optimization by selective drain bias," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-47, no. 12, pp. 2382-2392, Dec. 1999.
- [6] G. Tomassetti, "An unusual microwave mixer," *Proc. 16<sup>th</sup> European Microwave Conf.*, pp. 754-759, 1986.
- [7] K. Yhland, N. Rorsman, and H.H.G. Zirath, "Novel single device balanced resistive HEMT mixer," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. 43, no. 12, pp. 2863-2867, Dec. 1995.
- [8] R. Y. Miyamoto and T. Itoh, "Retrodirective arrays for wireless communications," *IEEE Microwave Magazine*, vol. 3, no. 1, pp. 71-79, March 2002.