

# CONTROL ÓPTICO DE UN OSCILADOR MMIC EN BANDA Ku

J. M. Zamanillo, C. Navarro, C. Pérez-Vega.  
Grupo de RF & Microondas  
Departamento de Ingeniería de Comunicaciones  
Universidad de Cantabria  
e-mail :  
[jose.zamanillo@unican.es](mailto:jose.zamanillo@unican.es)

J. Portilla  
Departamento de Electricidad y Electrónica  
Universidad del País Vasco/EHU  
e-mail :  
[joaquin@we.lc.ehu.es](mailto:joaquin@we.lc.ehu.es)

**Abstract-** This paper shows the latest results research on the optical control of a GaAs chip monolithic Voltage Controlled Oscillator, and is an extension of previous work realized by our group in the field of optical-microwave interaction [1-3]. The oscillator was originally designed for the transmitter stage of a VSAT communications front-end system in the 14.5 GHz band. The possibilities of optical control of the VCO by illumination of the PHEMT transistor are demonstrated through measurements of the oscillation output power and frequency. An optical control range of 8dB of oscillation output power and up to 400MHz of oscillation frequency has been obtained.

## I. INTRODUCCIÓN

La capacidad de integración componentes de microondas y ópticos en una misma oblea de semiconductor usualmente denominada como OMMIC (Optical Microwave Monolithic Integrated Circuit), así como el espectacular crecimiento de los sistemas ópticos de comunicación, ha estimulado recientemente el interés sobre los sistemas opto-electrónicos.

Nuestro grupo ha desarrollado modelos de gran señal para dispositivos MESFET y HEMT teniendo en cuenta la estimulación óptica de los mismos cuyos resultados han sido reportados con anterioridad [1], [5]. Hasta ahora, solamente existen unas pocas comunicaciones [2-3] sobre el control óptico de subsistemas de microondas (amplificadores, osciladores, mezcladores activos, etc.), y por ello esta es una de las razones por la cual nuestro grupo se ha interesado en el control electro-óptico de este tipo de dispositivos, y en particular del oscilador monolítico controlado por tensión presentado en esta comunicación.

El oscilador está fabricado en la tecnología monolítica HEMT D02AH de la foundry Philips Microwave Limeil, actualmente conocida como OMMIC. Es importante hacer notar que este dispositivo fue diseñado con anterioridad al presente estudio de la interacción óptica-microondas, y por tanto, sin llevar a cabo ninguna consideración óptica. En su diseño se emplearon los modelos suministrados por la fundición y un programa comercial de análisis de circuitos (el simulador ADS de Agilent Technologies). El objetivo para el cual fue diseñado era el de tener la posibilidad de realizar un control eléctrico tanto de la frecuencia de oscilación como de la potencia suministrada, todo ello con unas dimensiones mínimas. El control de frecuencia

eléctrico se realiza mediante la variación de la tensión de alimentación de un diodo varactor integrado en el propio MMIC, formado por un transistor con los terminales de drenador y fuente conectados, y la potencia de salida se ajusta variando la polarización del transistor. La idea que subyace en la presente comunicación es la de controlar “ópticamente” la frecuencia de oscilación del VCO iluminando el transistor que da ganancia en vez del transistor utilizado como varactor. El uso de la tecnología de AsGa queda claro frente a otras tecnologías como el Si ya que el AsGa presenta niveles de figura de ruido inferior, es más rápido y consume menos corriente continua. Por otro lado, las tecnologías basadas en AsGa son mas caras que las basadas en el Si, no obstante, la tendencia actual de mercado va dirigida a reducir este obstáculo.

## II. CONTROL OPTICO DE DISPOSITIVOS DE MICROONDAS

Es bien conocido que cuando un FET de AsGa se ilumina mediante un láser de onda continua, tienen lugar efectos de absorción en los espacios entre electrodos de gate-drain y gate-source, de manera que induce una foto-excitación en el canal del transistor. De hecho, tanto los dispositivos P-HEMT de AlGaAs, como los MESFET de AsGa presentan efectos fotoconductorivos y fotovoltaicos, los cuales han sido modelado por nuestro grupo en anteriores comunicaciones [4-5]. Ello se traduce en que tanto las curvas de DC estáticas, pulsadas, y los parámetros del circuito equivalente de pequeña señal, cambian cuando el dispositivo absorbe la potencia óptica aplicada. El esquema eléctrico del oscilador se muestra en la figura 1, su microfotografía en la figura 2(a), y su lay-out o máscara en la figura 2(b).

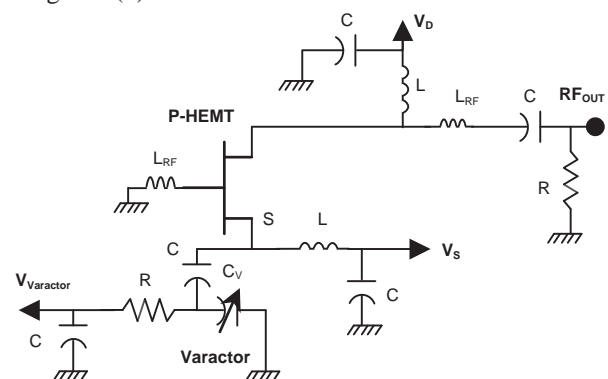


Fig. 1. Esquema eléctrico del oscilador controlado por tensión.

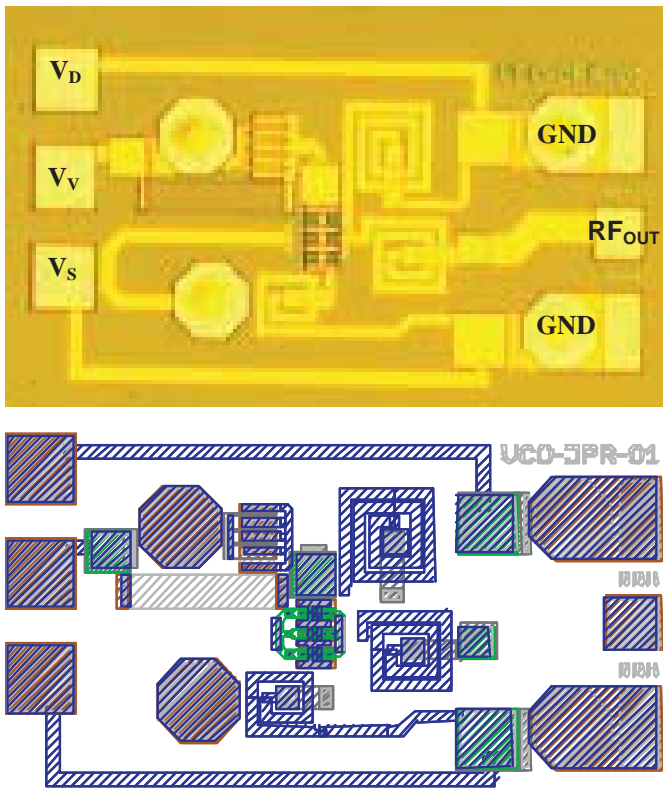


Fig. 2 (a) Microfotografía del VCO MMIC en Banda Ku.  
(b) Lay-out del VCO MMIC en Banda Ku

Tanto en la máscara del circuito como en la microfotografía pueden apreciarse los contactos eléctricos o “pads” utilizados para su caracterización en la estación de sondas coplanares. La separación entre los mismos es de 200  $\mu\text{m}$  y la superficie total del dispositivo es de  $1.2 \times 0.75 \text{ mm}^2$ . Además, puede apreciarse en la microfotografía que se han añadido los contactos necesarios para poder posicionar las sondas de medida coplanares ( $\text{RF}_{\text{OUT}}$ ), así como la polarización del transistor que actúa como bloque de ganancia ( $V_D, V_S$ ), así como el que actúa de varactor ( $V_{\text{VAR}}$ ). Esto permite caracterizar directamente el dispositivo en parámetros de scattering mediante una estación de sondas coplanares modelo Cascade SUMMIT 9000 conectada al analizadores de redes HP8510C.

Previamente a la medida del oscilador VCO presentado en esta comunicación. se han realizado medidas en DC y pulsadas, así como de parámetros de scattering a diferentes potencias ópticas mediante una estación de puntas Cascade SUMMIT 9000, el banco de pulsos TR-105 y el analizador de redes HP8510C a una familia de PHEMT proceso D02AH de PHILIPS con diferentes longitudes de puerta.

El montaje experimental utilizado se muestra en la Fig. 3, y dado que se han efectuado descripciones técnicas detalladas del mismo en comunicaciones anteriores [1-4], aquí se efectuará una breve descripción de dicho sistema de medida. La iluminación óptica ha sido generada mediante un diodo láser modelo SDL5301-G1 con  $\lambda=0.83\mu\text{m}$  y una máxima potencia óptica de 10mW. La salida del diodo láser se ha guiado hacia el transistor MESFET mediante una fibra monomodo (5/125), cuyo final era orientado mediante un micro-posicionador para iluminar la zona activa (“fingers”) del PHEMT. Las condiciones de iluminación láser, se basan

en la hipótesis de iluminación mediante perfil de campo Gaussiano lejano y se han obtenido a partir de las características de la fibra. El diámetro de dicho haz al final de la fibra es de  $W_0 = 3.1 \text{ mm}$ , y el ángulo de difracción, de  $\phi = 0.085 \text{ rad}$ .

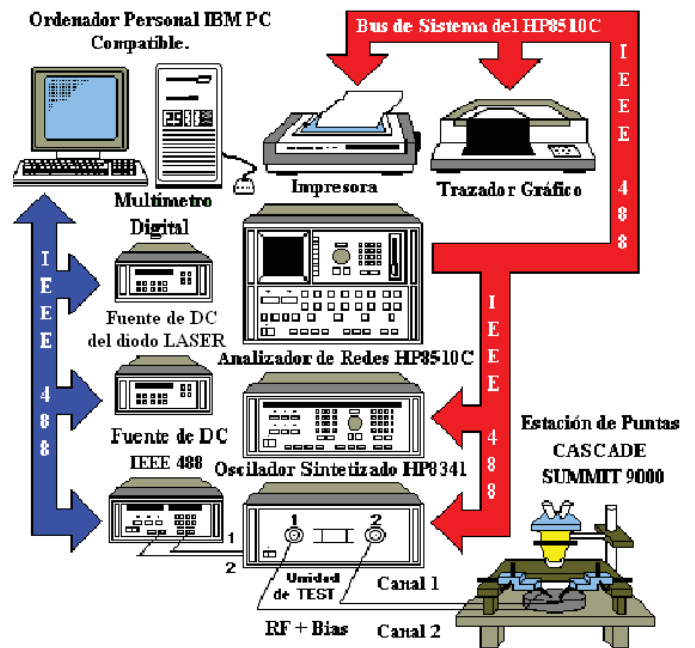


Fig. 3 Interconexión del sistema de medida

### III. MEDIDAS EXPERIMENTALES

A continuación se mostrarán las diferentes medidas efectuadas al VCO MMIC en banda Ku, en ausencia de iluminación óptica ( $P_L = 0 \text{ mW}$ ), alguna de las cuales ya fueron reportadas en [6], como cuando se ilumina el transistor HEMT del circuito monolítico a diferentes potencias ópticas.

#### A. Medidas sin iluminación óptica

Las medidas del oscilador se han efectuado con el sistema mostrado en la figura 4, en condiciones de oscuridad ( $P_L=0$ ), sin alimentar el diodo láser.

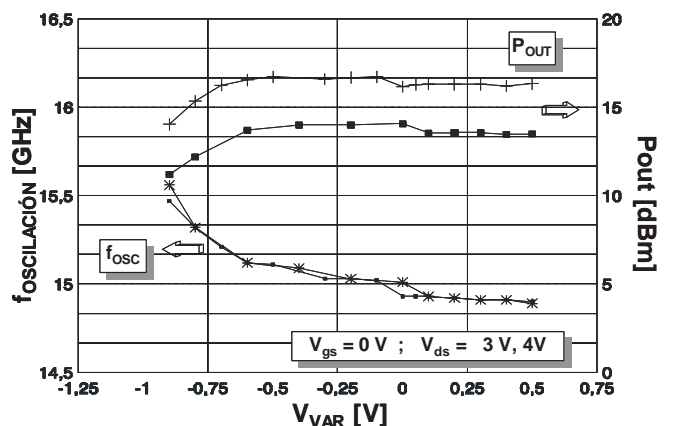


Fig. 4. Variación del parámetro de la frecuencia de oscilación y la potencia de salida del VCO a dos tensiones de drenador de 3 y 4 V cuando la potencia óptica aplicada es de 0mW.

Bajo estas condiciones, variando la tensión de control del varactor,  $V_{\text{var}}$  se obtiene una banda de sintonía del orden de 600 MHz, centrada en torno a los 15 GHz, y potencias que

varían entre 13.5 a 16.5 dBm, fijando la tensión de puerta a 0V y la de drenador ( $V_d$ ) en 3V y 4V respectivamente, tal como se muestra en la figura 4.

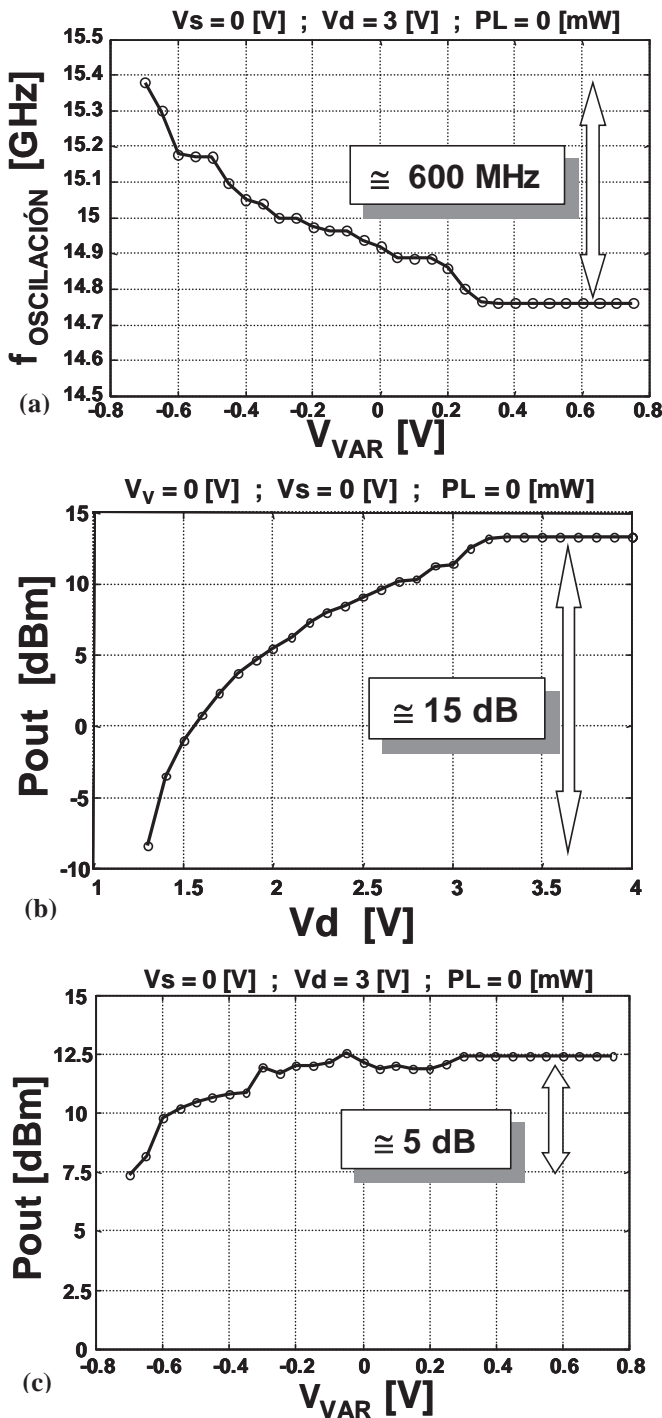


Fig. 5. (a) Frecuencia de oscilación del VCO en función de la tensión de control aplicada al varactor  $V_{VAR}$ .  
 (b) Rango de potencia de salida del VCO en función de la tensión de control de drenador del bloque amplificador  $V_d$ .  
 (c) Rango de potencia de salida del VCO en función de la tensión de control del varactor  $V_{VAR}$ .

La variación máxima en frecuencia que se puede obtener es de 600 MHz tal como se muestra en la figura 5(a). La máxima variación en potencia de salida (15dB) se obtiene cuando se varía la tensión de control  $V_d$  del HEMT utilizado como bloque de ganancia, como queda reflejado en la figura

5(b). Mientras que, si solamente se actúa sobre la tensión del varactor el control de potencia de salida se reduce a 5dB tal como se ilustra en la figura 5(c).

### B. Medidas con iluminación óptica

Se han llevado cabo medidas del amplificador completo bajo estimulación láser en diferentes puntos de polarización y en la  $Ku$ . El barrido en potencia óptica va desde los 0 mW (oscuridad) hasta los 12 mW. Basada nuestra experiencia previa de iluminación mediante láser de un amplificador monolítico [7], y de la medida y modelado de transistores MESFET y HEMT en solitario [8,9], era de previsible que la mayor eficiencia de la foto-excitación se consiga cuando el transistor PHEMT está polarizado en una zona próxima a la tensión de estrangulamiento o pinch-off, y además cuando la tensión de control de varactor no es muy elevada. La iluminación láser se ha aplicado solamente sobre los dedos "fingers" del transistor PHEMT que actúa como bloque de ganancia, mientras que el varactor se ha mantenido sin iluminar. Dado que el varactor está construido a partir de un transistor, en principio también sería posible la variación de la capacidad de puerta [3,4] para efectuar el control óptico de la frecuencia/potencia de salida del VCO, pero los resultados obtenidos no son tan significativos como los obtenidos a partir de la iluminación del PHEMT, y por ello no han sido incluidos en la presente comunicación. La figura 6 muestra el efecto de un aumento de la potencia óptica del láser en el cambio de frecuencia de oscilación del VCO, pudiéndose controlar ópticamente anchos de banda de 210 MHz y de 198 MHz para una polarizaciones del varactor de  $-0.6$ V y 0V respectivamente.

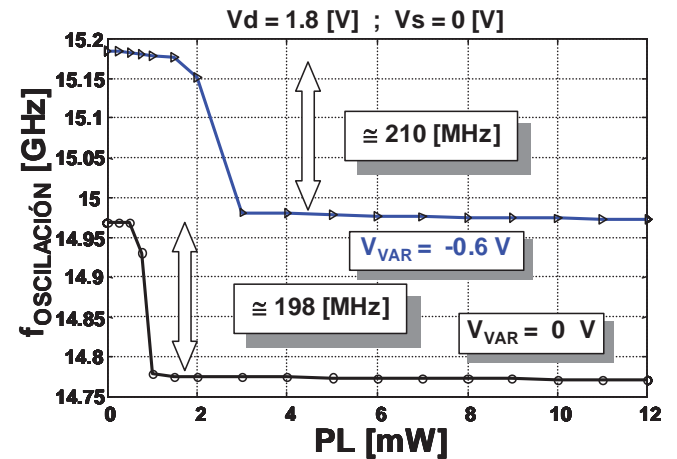


Fig. 6. Rangos de variación de la frecuencia de salida del VCO mediante control óptico para dos tensiones de alimentación diferentes del varactor  $V_{VAR} = -0.6$ V y 0V respectivamente.

Si se compara estos anchos de banda con los 600 MHz obtenidos en condiciones de no iluminación mediante un control clásico variando la tensión del varactor, en principio puede parecer un poco pobre el control óptico del VCO. Pero no debe excluirse, que en casos que se desee optimizar el consumo del dispositivo, el control óptico presenta la enorme ventaja de que el circuito puede estar polarizado en un punto muy próximo al corte, con lo que el propio control óptico puede actuar como interruptor de encendido y apagado del dispositivo de microondas y el consiguiente ahorro energético.

En la figura 7 se muestra la variación de la frecuencia de oscilación del VCO en función del voltaje de varactor aplicado para dos potencias ópticas diferentes 0 y 5 mW respectivamente. A la vista de la variación obtenida se puede afirmar que el efecto de la iluminación es equivalente a una reducción de la tensión de alimentación del varactor de 0.4V

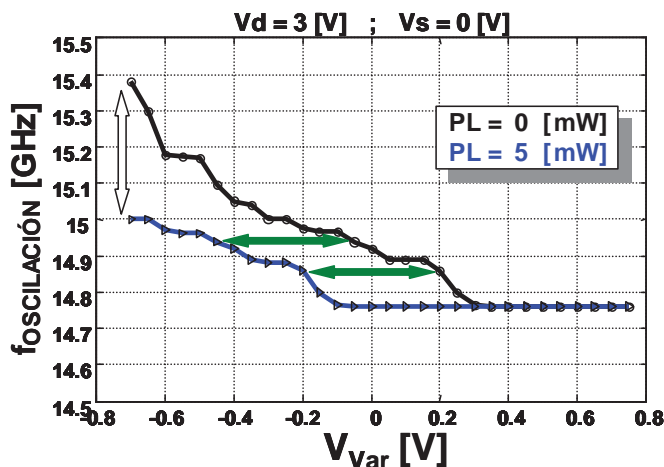


Fig. 7. Potencia de la frecuencia de oscilación del VCO en función de la polarización del varactor, para dos valores de potencia óptica aplicada PL=0 mW y PL=5mW, cuando el PHEMT está polarizado a Vds=3V.

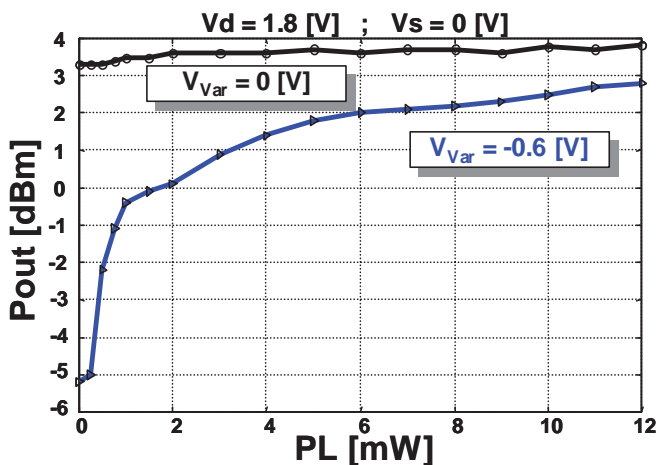


Fig. 8. Variación de la potencia de salida del VCO en función de la potencia óptica aplicada al VCO para dos tensiones de varactor de 0V y -0.6V, respectivamente.

Si además se combina el control eléctrico de las tensiones varactor en un cierto rango (-0.6 a 0 V), con el óptico se puede ampliar el rango máximo de sintonía óptico hasta unos 380 MHz, tal como se deduce de la figura 6. En cuanto al control de potencia de salida decir que para una tensión de varactor de -0.6V el efecto de la iluminación óptica se traduce en unos 8dB de control de potencia de RF, como queda patente en la figura 8.

Para finalizar, y a modo de revisión de los aspectos que se acaban de tratar, es posible afirmar que cuando el transistor PHEMT responsable de la potencia de salida del VCO se polariza en una zona cercana a la tensión de estrangulamiento de canal, el efecto de la estimulación óptica es mucho mas significativo que en otros puntos de polarización. Esta propiedad es muy interesante en el caso

de transceptores de bajo consumo, ya que el usuario puede incrementar la potencia de salida utilizando señales de control ópticas, con lo cual el dispositivo casi no consume potencia de DC cuando el transistor está polarizado cerca del pinch-off y solamente consume potencia cuando se le estimula con potencia óptica, con lo cual se produce un aumento considerable de la vida de las baterías del equipo. Además por la misma razón, es posible conectar y desconectar el dispositivo mediante una señal óptica.

#### IV. CONCLUSIONES

Se ha llevado a cabo una investigación exhaustiva de las propiedades de control de un oscilador MMIC de AsGa en banda Ku baja iluminación láser. Además, se han mostrado las principales dependencias de sus parámetros, así como la manera de integrar los mismos en otras técnicas clásicas de control para las corrientes de puerta y drenador.

El procedimiento de control óptico mostrado en la comunicación, es válido para otro tipo de componentes y subsistemas de microondas como: mezcladores, conversores ascendentes y descendentes, etc. Además, la técnica puede mejorar el desarrollo de las generaciones futuras de OMMICS.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al grupo de ingeniería fotónica del departamento TEISA de la Universidad de Cantabria el préstamo de la fuente láser utilizada para poder efectuar el trabajo presentado en la presente comunicación.

#### REFERENCIAS

- [1] A. Mediavilla, A. Tazón, J.L. García, T. Fernández, J.A. García, J.M. García, C. Navarro, J.M. Zamanillo. "Dynamic Properties and Modelling of Large Signal, Thermal, Optical and Intermodulation Effects in Microwave GaAs Devices", Invited paper on the IEEE MTT-S Workshop, Vol.1, Denver (USA) . June 8-13 1997
- [2] J.M. Zamanillo, C. Navarro, C. Pérez-Vega, A. Mediavilla, and A. Tazón "Large Signal Model Predicts Dynamic Behavior of GaAs MESFET Under Optical Illumination.". Microwave and Optical Technology Letters. Vol. 29, No.1, pp 25-31. April 5 2001.
- [3] C. Navarro, J.M. Zamanillo, A. Mediavilla, A. Tazón and J.L. García, "New optical capacitance Model for GaAs MESFETs". Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 26, No. 1, pp. 16-21. Jul 2000
- [4] C. Navarro, J.M. Zamanillo, A. Mediavilla, A. Tazón, J.L. García, M. Lomer and J.M. López-Higuera. "An Accurate Photonic Capacitance Model for GaAs MESFET". IEEE Transactions on MTT, Vol 50, No. 4, pp 1193-1197, April 2002.
- [5] J. M. Zamanillo, C. Navarro, C. Pérez-Vega, J. A. García, A. Mediavilla and A. Tazón. "New Large Signal Model of AlGaAs PHEMT and GaAs MESFET Under Optical Illumination". GaAs 2002 European Gallium Arsenide, Applications Symposium Proceedings, pp.121-124.Milan, Italy. Sept. 2002.
- [6] J. Portilla, J. P. Pascual, M<sup>a</sup>. L. de la Fuente, E. Artal, "MMIC VCO Design Approaches for Low Noise and Enhanced Power Performances", European Microwave Conference, Amsterdam 1998.
- [7] J.M. Zamanillo, J. Portilla, C. Navarro, C. Pérez-Vega and A. Mediavilla, "Optical Control of a GaAs MMIC Amplifier at S Band". GaAs 2003 European Gallium Arsenide, Applications Symposium Proceedings, pp.117-120, Munich, Germany. Oct. 2003
- [8] J.M. Zamanillo, C. Navarro, J. Sáiz-Ipiña, C. Pérez-Vega and A. Mediavilla. "New Large Signal Electrical Model of GaAs MESFET Under Optical Illumination". GaAs 2001 European Gallium Arsenide, Applications Symposium Proceedings, pp.167-170, London, Sept-2001.