

# Diseño de Amplificadores de mediana potencia para aplicaciones WiMAX

Liliana CARDOZA, Everardo INZUNZA, Rosa Martha LOPEZ, Enrique Efrén GARCIA, Jesús Everardo OLGUIN

Facultad de Ingeniería Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California  
Ensenada, Baja California, CP 22860, México

Juan Miguel HERNANDEZ

Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín, Universidad Autónoma de Baja California  
San Quintín, Baja California, C.P. 22920, México

## RESUMEN

Los transistores HEMT's de potencia a base de Nitruro de Galio, GaN, son la clave para el diseño exitoso de amplificadores en la banda WiMax. Estos transistores ofrecen una alta eficiencia y linealidad, lo que los hace ideales para el diseño de amplificadores clase A y B, utilizados en las bandas de redes inalámbricas. Utilizando un transistor HEMT a base de GaN, en este trabajo se presenta el diseño y simulación de un amplificador clase A y B, el cual opera en la banda de 2.2 a 2.6 GHz.

**Palabras Claves:** Amplificador de potencia, Redes de adaptación, Modelado de transistores, WiMAX.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los transistores con alto campo eléctrico crítico de ruptura como el transistor de alta movilidad electrónica (HEMT's) a base de Nitruro de Galio (GaN) ha sido introducido comercialmente hace unos cuantos años, este dispositivo el cual opera en los rangos de voltaje de 28 a 50 volts, ofrece mucha mayor potencia de RF que sus similares los transistores HEMT's de GaAs. Además de ser de tamaño pequeño estos transistores ofrecen baja capacitancia por Watt, muy alta transconductancia así como la capacidad de ser operados sobre un amplio ancho de banda. Estos atributos acompañados con su alta eficiencia y linealidad lo hacen ideal para el diseño de amplificadores clase A e incluso para clases B, que trabajen en las bandas de redes inalámbricas. En el diseño de amplificadores de potencia clase A y B, las metas a alcanzar, son la máxima ganancia y la máxima potencia lineal de salida,

la cual es medida con el punto de compresión de 1 dB (P1dB). Por otra parte, generalmente los parámetros S son usados para diseñar amplificadores clase A y B para máxima ganancia, usando el punto de operación del transistor medido. Pero para amplificadores en los cuales se quiere analizar el P1dB, el cual nos va a proporcionar exactamente la potencia máxima que podemos alcanzar en nuestro amplificador, se utilizan modelos no-lineales. Un problema que se enfrentan los diseñadores es que en la mayoría de los casos los parámetros para caracterizar los transistores generalmente no están disponibles, es decir los fabricantes no suelen proveer la información para el modelado lineal y no-lineal de sus productos. Por lo que este trabajo se divide principalmente en dos partes. Primero se presenta la caracterización y modelado del transistor. Y posteriormente se presenta el diseño y simulación del amplificador clase A y clase B, el cual opera en el rango de frecuencia de 2.2 a 2.6 GHz para aplicaciones WiMax.

## 2. CARACTERIZACIÓN Y MODELADO DEL TRANSISTOR

### Caracterización del Transistor

La caracterización del transistor es la parte fundamental para lograr un buen diseño del amplificador. Primeramente se deben medir los parámetros de dispersión del transistor en el punto de polarización para el cual se va a diseñar el amplificador, así como medir sus características I-V. En la figura 1 se muestra el banco de medición para caracterizar al transistor. Como primer

punto se miden los parámetros de dispersión del transistor a la polarización deseada utilizando el analizador de redes vectorial previamente calibrado [1]; posteriormente se miden sus características I-V en régimen pulsado utilizando el sistema de medición DIVA. Estos dos equipos son manejados de manera automática por el software LIMCAL [2].

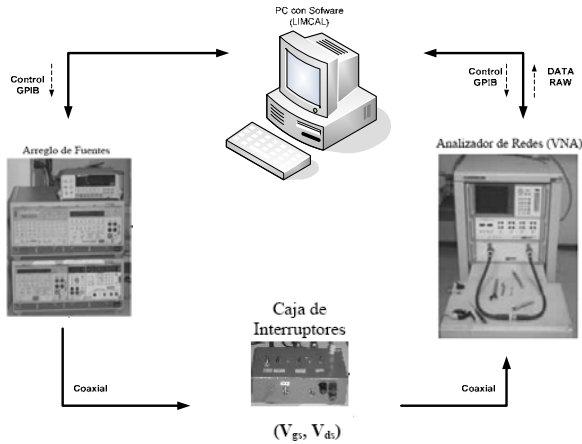


Figura 1. Banco de medición para la caracterización de Transistores GaN

### Modelo de pequeña señal

El modelo utilizado para este transistor fue el de tipo circuito eléctrico equivalente, por lo que es necesario primero determinar los elementos extrínsecos del transistor, resistencias, inductancias y capacitancias. Una vez que los elementos han sido determinados el siguiente paso es efectuar un “de-embedding” y utilizar la topología adecuada para determinar los elementos del transistor intrínseco,  $g_m$ ,  $R_{DS}$ ,  $C_{GS}$ ,  $C_{GD}$ ,  $C_{DS}$ ,  $R_I$  y  $\tau$  [3-4]. En la figura 2 se muestra el circuito eléctrico equivalente utilizado para el modelado del transistor en pequeña señal.

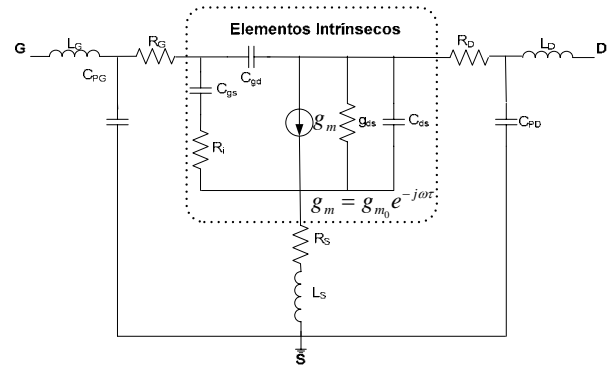


Figura 2. Circuito eléctrico equivalente del transistor GaN utilizado

### Modelo en gran Señal

El modelo en gran señal es una extensión del modelo de pequeña señal, pero ahora se toman en cuenta las variaciones de voltaje de los elementos intrínsecos. Para hacer un poco más simple el modelo, se toman los tres elementos más no lineales los cuales son  $C_{GS}$ ,  $C_{GD}$  e  $I_{DS}$ . Cambiando la transconductancia del transistor  $g_m$ , por un modelo no lineal de corriente. El utilizado en este trabajo es el modelo de Angelov [8]. El modelo en gran señal sirve para predecir la potencia máxima y ganancia. Con estos parámetros podemos saber si el transistor que estamos utilizando es el correcto para el diseño de nuestro amplificador.

En la figura 3 se muestra el circuito eléctrico equivalente del transistor CGH35015 ya con la fuente de corriente y tomando en cuenta las no linealidades de las capacitancias.

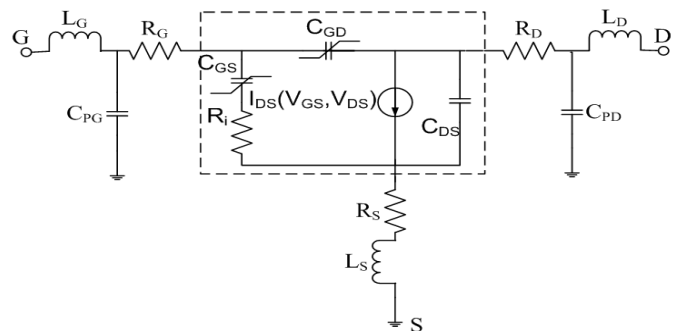


Figura 3. Circuito Eléctrico Equivalente del transistor GaN utilizado.

### 3. DISEÑO DE LAS REDES DE ACOPLAMIENTO DEL AMPLIFICADOR

Para obtener la red de acoplamiento tanto de entrada como de salida utilizamos el software ADS (advanced desing system) [10], el cual nos permitió hacer un acoplamiento aproximado con la teoría clásica [5]. Una vez simuladas estas redes se observo que no son las óptimas y se agregaron algunos otros elementos [6]. Cabe mencionar que es de suma importancia las características del sustrato (FR4) mostrados en la tabla 1, los cuales se necesitan para simular las redes de acoplamiento de ambos puertos.

Tabla 1 Características del sustrato FR4

$\epsilon_r$	h	T	tan
4.25	1.65mm	1mm	0.016

En la figura 4 se observa las secciones principales necesarias para el diseño de un amplificador de microondas.

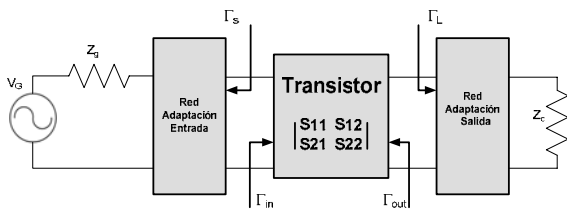


Figura 4. Esquema de un Amplificador.

### 4. RESULTADOS

#### Amplificador de Potencia clase A

Las características del amplificador de potencia (AP) clase A diseñado y simulado con el software ADS son las siguientes:

- Frecuencia de operación de 2.3-2.5 GHz
- Ganancia en gran señal de 14.174 dB
- Potencia Máxima a la entrada 22 dBm
- Potencia Máxima a la salida 35.86 dBm
- Ancho de banda (BW) de 200MHz

En la figura 5 se muestra el comportamiento de la recta de carga del AP clase A.

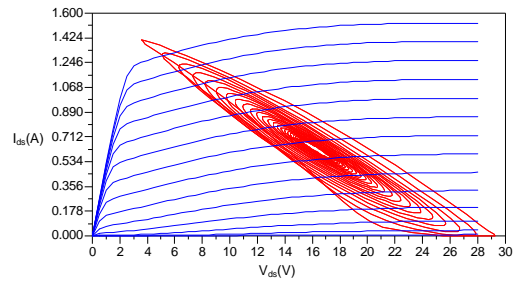


Figura 5. Recta de carga estimada del AP Clase A diseñado.

La figura 6 ilustra la forma de onda corriente y voltaje que se presenta en la salida del amplificador.

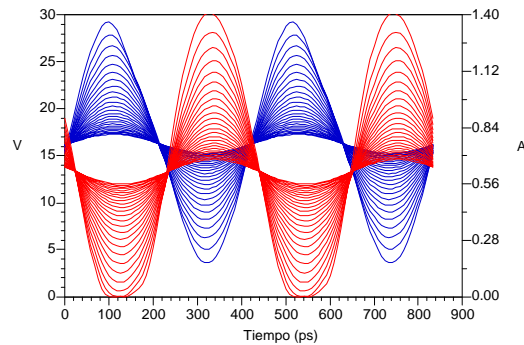


Figura 6. Formas de ondas presentadas en la salida del AP clase A.

La figura 7 muestra los resultados de la simulación del AP clase A con  $V_{gs}=-1.3V$  y  $V_{ds}=17V$ .

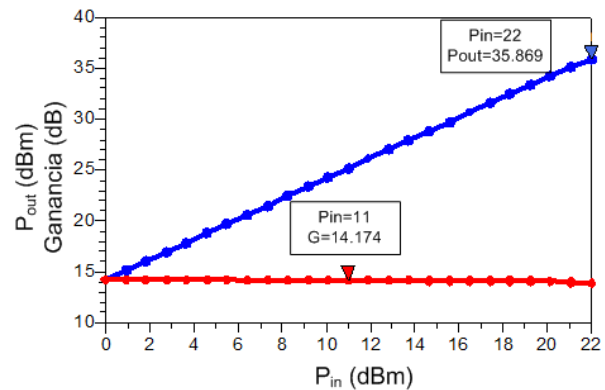


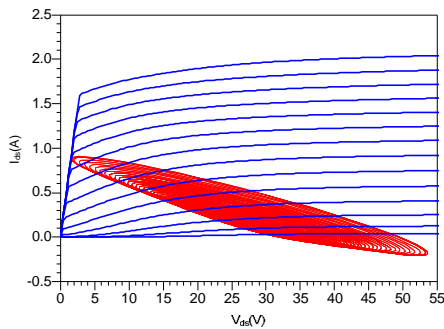
Figura 7. Respuesta  $P_{in}$  Vs  $P_{out}$  del AP clase A diseñado

## Amplificador de Potencia clase B

Las características del amplificador clase B diseñado y simulado son las siguientes:

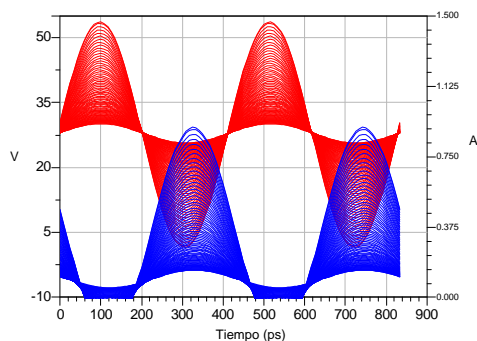
- Frecuencia de operación de 2.3-2.5 GHz
- Ganancia en gran señal de 16.52 dB
- Potencia Máxima a la entrada 21.9 dBm
- Potencia Máxima a la salida 37.97 dBm
- Ancho de banda (BW) de 200MHz

En la figura 8 ilustra el comportamiento de la recta de carga del AP clase B.



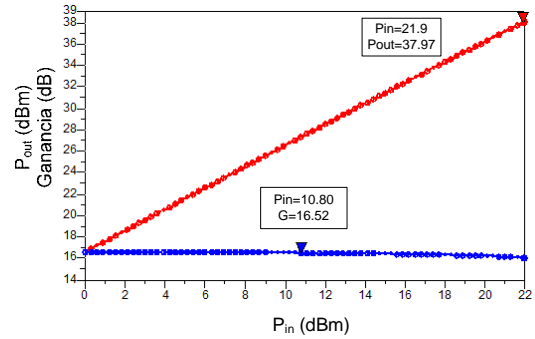
**Figura 8. Recta de carga estimada del AP Clase B diseñado.**

En la figura 9 se ilustran las formas de onda de corriente y voltaje que se presentan en la salida del amplificador clase B.



**Figura 9. Formas de onda presentadas en la salida del AP clase B diseñado.**

La figura 10 muestra los resultados de la simulación del AP clase B con  $V_{gs} = -2.4V$  y  $V_{ds} = 28V$ .



**Figura 10. Respuesta  $P_{in}$  Vs  $P_{out}$  del AP clase B diseñado**

## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se estudió y simuló los AP clase A y B, esto implica tanto su funcionamiento como el modelo lineal y no lineal del transistor en tecnología GaN y la síntesis de redes de entrada y salida del amplificador.

Se abordó el modelo del transistor HEMT GaN por medio de un circuito equivalente, ya que es una herramienta de gran utilidad de componentes de microondas. Se ha establecido como la caracterización de los parámetros intrínsecos y extrínsecos pueden ser empleados para determinar el comportamiento del dispositivo deseado. En el caso de este trabajo, se utilizó para predecir la potencia de salida a niveles que no se pueden medir con el equipo convencional.

El transistor utilizado en este trabajo fabricado por la compañía CREE es relativamente nuevo y sus características nos favorecen porque soporta mayor potencia.

Podemos observar que la teoría clásica acerca de las redes de adaptación no fue suficiente para un buen diseño y se utilizaron otras técnicas ya mencionadas.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. F. Engen and C.A.Hoer, "Thru-Reflect-Line: An improved Technique for Calibrating the Dual Six Port Automatic Network Analyzer," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol.MTT 27, No.12, pp.987-993, December 1979.
- [2] J.E. Zúñiga-Juárez, J.A.Reynoso-Hernández, "LIMCAL: Software para calibrar el analizador de redes vectorial".

Memorias SOMI XX Congreso Nacional de Instrumentación, Leon, Gto., Octubre 2005.

[3] Gilles Dambrine, Alain Cappy F. Heliodore and E. Playez, "A New Method for Determining Circuit," IEEE Transactions on Microwave and Techniques., vol36 No.7, July 1998.

[4] J. Aploninar Reynoso-Hernandez, Fca. Elias Rangel Patino and Julio Perdomo. "Full RF Characterization for Extracting the Small-Signal Equivalen Circuit in Microwave FETs". MESFET "IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques", Vol 44, No.12, July 1996.

[5] Gonzalez Guillermo "Microwave Transistor Amplifiers" Analysis and Desing Editorial Prentice Hall 1984.

[6] Woo, Y. Y., Y. Yang y B. Kim, 2006, "Analysis and Experimennts for High-Efficiency Class -F and Inverse Clase-F Power Amplifiers". IEEE Trans on Microwave Tach.

[7] Ahmed Sayed and Georg Boeck, "Two-Stage Ultrawide-Band 5-W Power Amplifier Using SiC MESFET", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol 53, No. 7, July 2005.

[8] J. R. Loo-Yau, J. A. Reynoso Hernandez, J. E. Zuniga, F. I. Hirata Flores and H. Ascencio Ramirez. "Modeling The I-V Characteristics Of The Power Microwave Fets With The Angelov Model Using Pulse Measurements", Microwave and Optics Technology Letter, Vol. 48, No. 6, June 2006

[9] Y. C. Chen, D. L. Ingram, H. C. Yen, R. Lai and D.C.Streit, "A New Emiprical I-V Model for HEMT Devices". IEEE Microwave and Guidded Wave letters, Vol. 8, No. 10, October 1998.

[10] Advanced Design System, Agilent Technologies, Editorial Prentice Hall. 1999.