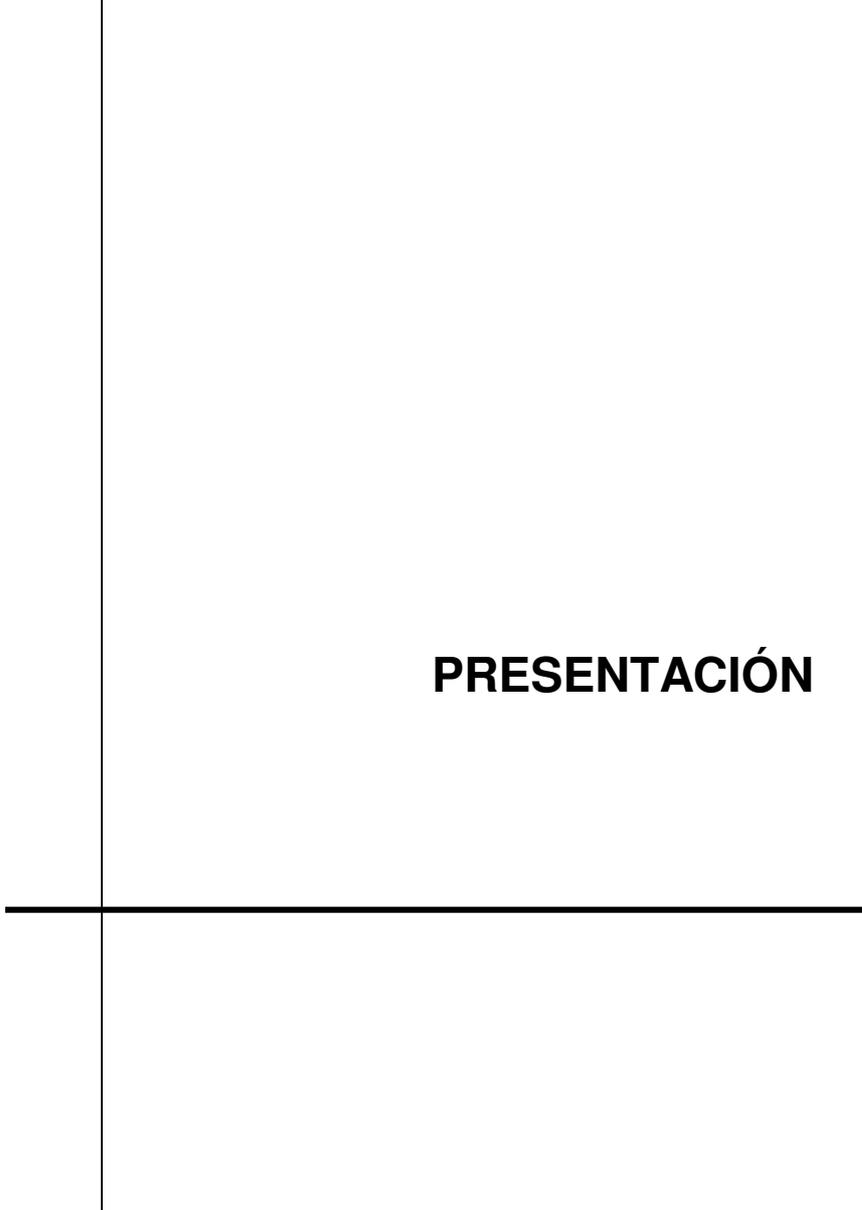


INDICE

INDICE	1
1. PRESENTACIÓN	4
1.1. OBJETIVOS.....	5
1.2. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA	6
2. INTRODUCCIÓN	10
2.1. TÉCNICAS DE SIMULACIÓN	10
2.1.1. BALANCE ARMÓNICO.....	11
2.1.2. SERIES DE VOLTERRA.....	16
2.2. PROGRAMAS DE SIMULACIÓN.....	17
2.2.1. MICROWAVE OFFICE	18
2.2.2. APLAC.....	20
2.2.3. ADS	21
2.2.4. COMPARATIVA DE SIMULADORES DE MICROONDAS.....	28
3. TRANSISTORES HEMT	30
3.1. DESCRIPCIÓN DEL HEMT	30
3.2. MODELOS DE PEQUEÑA Y GRAN SEÑAL	32
3.2.1. MODELO DE PEQUEÑA SEÑAL	32
3.2.2. MODELOS DE GRAN SEÑAL	33
3.3. OBTENCIÓN DEL MODELO DE PEQUEÑA SEÑAL DE UN TRANSISTOR A PARTIR DE LOS PARÁMETROS S	34
3.3.1. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS EXTRÍNSECOS.....	35
3.3.2. CÁLCULO DE LA MATRIZ DE ADMITANCIA INTRÍNSECA	37
3.3.3. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS INTRÍNSECOS.....	39
4. DISEÑO DE AMPLIFICADORES	42
4.1. DISEÑO PARA MÁXIMA GANANCIA (ADAPTACIÓN CONJUGADA)....	45
4.2. DISEÑO PARA UNA GANANCIA ESPECIFICADA.....	46
4.2.1. ESTABILIDAD INCONDICIONAL	46
4.2.2. INESTABILIDAD POTENCIAL.....	47
4.3. DISEÑO PARA BAJO RUIDO	48
4.4. CIRCULOS DE DESADAPTACION CONSTANTE.....	49
5. CONTRIBUCIONES Y RESULTADOS	52
5.1. OBTENCIÓN DE LOS VALORES DE LOS ELEMENTOS DEL MODELO DE PEQUEÑA SEÑAL	53

5.1.1.	MODELO SIMPLE	54
5.1.2.	MODELO COMPLETO	64
5.2.	DISEÑO DEL AMPLIFICADOR.....	77
5.2.1.	PARÁMETROS GENERALES DE ESTABILIDAD	78
5.2.2.	ELECCIÓN DEL PUNTO DE TRABAJO	80
5.2.3.	CARACTERIZACIÓN DEL SUSTRATO	99
5.2.4.	REDES DE ADAPTACIÓN ENTRADA Y SALIDA DE LOS DOS CIRCUITOS	100
5.2.5.	RED DE POLARIZACIÓN.....	104
5.2.6.	SIMULACIONES DE PARÁMETROS S FINALES	108
5.2.7.	ELECCIÓN DEL MEJOR DISEÑO	113
5.3.	SIMULACIONES DE BALANCE ARMÓNICO	114
5.3.1.	SIMULACIONES DE UN TONO	116
5.3.2.	SIMULACIONES DE DOS TONOS	121
5.3.3.	SIMULACIONES LOAD PULL	124
5.4.	MODELADO CON DISPOSITIVOS DEFINIDOS SIMBÓLICAMENTE ..	130
6.	CONCLUSIONES.....	135
6.1.	LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN	137
7.	ANEXOS	140
7.1.	HOJA DE CATÁLOGO DEL TRANSISTOR EPBO18A5-70.....	140
7.2.	ARCHIVO “.S2P”	146
	BIBLIOGRAFÍA	148



PRESENTACIÓN

1. PRESENTACIÓN

El presente proyecto pretende desarrollar una serie de procedimientos realizados a partir del transistor de Excelics EPB018A5-70 a una frecuencia de funcionamiento de 5.25 GHz. A partir de este FET de heterounión se realizan estudios como la caracterización del modelo de pequeña señal, diseño de un amplificador y estudio de su comportamiento. La principal herramienta que se usará es el programa de simulación Advanced Design System (ADS) de Agilent Technologies, ya que proporciona las facilidades necesarias para este estudio.

La elección de la frecuencia de trabajo de 5.25 GHz ha venido condicionada por ser una de las bandas ISM en las que no es necesario licencia para su uso junto con 2.5 GHz. Actualmente esta banda de frecuencia inferior ya está desarrollada comercialmente. Las ventajas de la banda de 5GHz son fundamentalmente que es una banda que no ha sido ocupada comercialmente por fabricantes de sistemas inalámbricos y además ofrece una posibilidad de integración mayor al ser sistemas de dimensiones más reducidas [4].

A 5.25 GHz se está desarrollando en el Área de Teoría de la Señal de la Universidad de Sevilla y de acuerdo con otras universidades una labor de diseño de prototipos para lo que podría considerarse como la cuarta generación de las comunicaciones móviles. Ese trabajo de investigación forma parte de PLASOFTRA, Plataforma Software Radio para sistemas 4G Mobile, proyecto coordinado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología para su desarrollo durante el periodo 2002-2004.

El eje central alrededor del cual gira este proyecto es el transistor, ya que es el núcleo de todos los análisis y estudios desarrollados. Se trata de un transistor FET de heterounión con encapsulado cerámico de 70 mil (milipulgadas) caracterizado por tener una alta ganancia, alta fiabilidad y bajo ruido. Este dispositivo de efecto de campo con heteroestructura se caracteriza por tener una alta movilidad de los electrones, por lo que también se les denomina HEMT (High Electrón Mobility Transistor). La estructura que posee proporciona ventajas en las propiedades de transporte de los electrones (alta movilidad y velocidad) respecto a los transistores con material semiconductor ligeramente dopado.

Hoy en día, el ingeniero que diseña un circuito de microondas con dispositivos de estado sólido como mezcladores de frecuencia o amplificadores, a menudo elementos críticos para el funcionamiento del sistema en el que se implementan, sabe que esos componentes están sujetos a muchos tipos de inestabilidades o efectos espurios que es posible que no aparezcan en el proceso de desarrollo, pero sí

posteriormente. Aunque existen fuentes que orientan sobre el diseño con no linealidades en los elementos, muchos circuitos han tenido que ser diseñados mediante el método de prueba y error. Para intentar solucionar este problema se desarrollaron algunas técnicas de simulación de circuitos no lineales y, con el desarrollo de la informática, se crearon aplicaciones para la simulación de los circuitos con ayuda del ordenador. Estas herramientas actualmente son de gran importancia y se han convertido en un paso indispensable en cualquier diseño.

1.1. OBJETIVOS

El objetivo general es diseñar de un amplificador de microondas y hacer un estudio de su comportamiento considerando los efectos de las no linealidades. Pero además, se complementará este estudio con el análisis de otros procedimientos importantes para caracterizar el comportamiento del transistor, que pueden lograrse gracias al programa de simulación que se emplea, el ADS. No se pretende hacer un diseño “perfecto” de amplificador sujeto a determinadas especificaciones, sino mostrar las herramientas que ofrece el programa de simulación para facilitar la tarea del diseño y análisis.

Por lo tanto, pueden definirse cuáles son los objetivos particulares que se tratarán de obtener mediante el trabajo realizado no sólo con las simulaciones, sino también con el correspondiente estudio teórico:

- **Análisis de las técnicas de simulación ADS:** se pretende conocer las técnicas principales para la simulación de circuitos no lineales en el dominio de la frecuencia.
- **Evaluar las prestaciones del programa ADS:** es necesario conocer su método de funcionamiento para realizar todo el proceso de diseño y estudio con este programa de simulación. El manejo debe comenzar con poder crear los circuitos, posteriormente poder simularlos y finalmente poder representar los resultados de la forma adecuada.
- **Caracterización y optimización del modelo de pequeña señal del transistor FET:** Se seguirán unos pasos iniciales de estudio del modelo de pequeña señal del transistor trabajando con los parámetros S que caracterizan a este dispositivo y optimizando los valores de los componentes para que se ajusten los parámetros S en un rango de frecuencias en torno a la de funcionamiento.

- **Diseño del amplificador:** se procederá al diseño de un amplificador de microondas a partir de dicho transistor buscando el punto óptimo de funcionamiento para los coeficientes de reflexión y adjuntándole las redes de adaptación de impedancias y la de polarización.
- **Estudio del comportamiento del amplificador:** con todos los componentes del amplificador completamente determinados se estudiarán algunas de sus características no lineales, como la ganancia de compresión y la intermodulación, y se representarán los contornos de Load-Pull utilizando el modelo Curtice-Ettenberg para modelar al transistor.
- **Uso de dispositivos definidos simbólicamente (SDD):** mediante el uso de esta funcionalidad del ADS se caracterizará al transistor para que responda con un modelo determinado por las ecuaciones que introduzca el usuario. De esta forma, se podrían modificar los modelos preestablecidos para asemejarlos más a los resultados de caracterización del transistor que se obtienen realmente en la práctica.

1.2. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

En este primer capítulo de la memoria se ha pretendido hacer una breve presentación del trabajo realizado para la ejecución de este proyecto fin de carrera, destacando los principales objetivos planteados y la importancia de los temas tratados tanto de forma teórica como de manera más práctica.

En segundo lugar, en el capítulo “Técnicas de simulación”, se describen dos de las principales técnicas existentes para la simulación de circuitos de microondas: el balance armónico y las series de Volterra. Estos análisis suelen utilizarse para el estudio de circuitos no lineales en el dominio de la frecuencia, siendo cada una de estas técnicas más apropiada para cierto tipo de no linealidades del circuito.

Como hoy en día existen herramientas informáticas que facilitan estas labores de simulación, en ese mismo apartado también se presentan algunos de los programas más usados por los diseñadores. En concreto, se describen los principales rasgos de los programas Microwave Office, APLAC y Advanced Design System. Sobre éste último, ADS, se especificarán más en detalle sus características, principalmente las distintas simulaciones que puede efectuar, ya que será el que se emplee para el estudio del comportamiento de los circuitos desarrollados.

En el tercer capítulo se describe el principio de funcionamiento de los transistores HEMT, caracterizados por la alta movilidad de sus electrones.

Posteriormente se detallan los circuitos equivalentes usados para modelar a este tipo de transistores, tanto en pequeña como en gran señal. En esta última caracterización del dispositivo se comentan los modelos más importantes, como el de Materka, Curtice-Ettenberg o Angelov.

Como último apartado de ese capítulo se desarrolla el procedimiento necesario para obtener de forma teórica, sin ayuda de programas de simulación que realicen una optimización en busca de los valores que mejor se ajustan a los datos, cuáles son los valores de los componentes del modelo de pequeña señal de un transistor FET. Las deducciones de esos elementos se realizan a partir de los parámetros S del transistor, a los que se le aplican las transformaciones necesarias para convertirlos en parámetros de impedancia o de admitancia, según sea necesario. También es imprescindible hacer estudios del circuito equivalente de pequeña señal del transistor para obtener, en función de sus elementos, su matriz de admitancias y de ahí obtener, igualando expresiones con las que están en función de los parámetros S, los valores de los elementos.

El cuarto capítulo, diseño de amplificadores, resume las técnicas existentes para establecer la configuración más adecuada para construir un amplificador a partir de un transistor. A la hora del diseño habrá que considerar las especificaciones como la ganancia de potencia, figura de ruido o estabilidad, intentando llegar a una solución de compromiso para satisfacer de la mejor forma posible todas las restricciones impuestas para el diseño.

Se puede considerar que el capítulo quinto es el más interesante, ya que es donde verdaderamente se muestra el trabajo realizado. Comienza con una descripción de los circuitos usados en el ADS para hacer las simulaciones, comentando para cada uno de ellos los elementos más destacados. Una vez simulado, son los resultados obtenidos de este proceso los que se presentan en la memoria, mostrando la hoja de resultados que ofrece el programa de simulación. Tanto en forma de gráfica como de tabla, se comentan los datos de salida, así como se realiza una discusión de estos resultados obtenidos.

Las simulaciones comienzan con una comparación de los parámetros S o de Scattering del transistor proporcionados por el fabricante con los que se obtienen usando el modelo de pequeña señal con los valores también proporcionados por éste. Posteriormente, para disminuir la diferencia entre esos parámetros, se realiza una optimización de los valores de los elementos que componen el circuito de pequeña señal para que se ajusten mejor en un entorno de la frecuencia de trabajo, 5.25 GHz.

El segundo bloque de simulaciones se centra en hacer el diseño del amplificador de microondas aprovechando las herramientas que proporciona el ADS, como la guía de diseño de amplificadores. Por ese motivo, se detallarán todos los intentos de encontrar el diseño óptimo, incluyendo los que no proporcionaron una solución, para así mostrar la forma de seguir esa técnica de diseño si otro transistor lo permitiera. Se comienza con la elección de los coeficientes de reflexión, seguido de la elaboración de las redes de adaptación de impedancias de entrada y de salida, así como la red de polarización del circuito. Para poder desarrollar esta última, es necesario saber cuáles serían las tensiones de polarización, para lo que se calcula el punto de trabajo en DC mediante la caracterización del transistor con las curvas I-V.

En un tercer bloque, ya realizado el diseño del amplificador, se hace un estudio de su comportamiento mediante las simulaciones de balance armónico, que nos proporcionan datos como la ganancia de compresión o la intermodulación. Además, usando el modelo que incluye efectos no lineales, el de Curtice-3 para la representación del transistor, se representan los contornos de Load-Pull del amplificador.

Por último, dentro del capítulo de contribuciones y resultados, se demuestra la posibilidad de caracterizar a un dispositivo como un transistor mediante un elemento SDD: dispositivo simbólicamente definido. En este método se pueden poner las ecuaciones que se deseen para las corrientes y tensiones del elemento de n puertos que representa el dispositivo analizado. De esta manera es el usuario el que determina cuál será la respuesta del dispositivo ante los estímulos, creando su propio modelo.

Tras haber realizado el diseño y estudiado el comportamiento del circuito, se comentan las conclusiones a las que se ha llegado tras el trabajo realizado, en el capítulo sexto. Así mismo, se añaden algunas posibles futuras líneas de investigación partiendo del trabajo desarrollado en este proyecto fin de carrera y que podrían completarlo de manera interesante.

El último capítulo recoge varios anexos en los que se complementa los datos facilitados a lo largo de la memoria con información útil, como la hoja de catálogo del fabricante del transistor, el archivo de los parámetros S que se le pasan al programa de simulación ADS y otra información complementaria.