



Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla



**Elaboración de un modelo software del
transmisor y receptor superheterodinos de
ME1000RF Circuit Design Courseware de
DreamCatcher mediante ADS.**

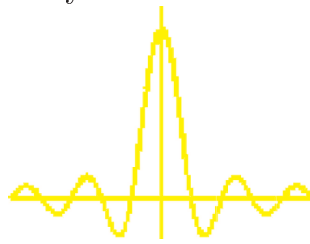
Autor: Javier Higes Márquez
Tutor: María José Madero Ayora

Proyecto Fin de Carrera

Ingeniero de Telecomunicación

Sevilla, 24 de marzo de 2014

Este Proyecto se realizó en el



Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones

-Este proyecto se escribió en L^AT_EX-

Agradecimientos

Me gustaría dar las gracias a todas las personas que han contribuido a la realización de este Proyecto, en especial a mi tutora María José Madero Ayora, y a Jorge Cordero Machado por su guía y plantilla para hacer el Proyecto de Fin de Carrera en L^AT_EX.

L^AT_EX

Prefacio

Este Proyecto aborda el estudio de algunos de los bloques de radiofrecuencia más significativos de un transmisor y receptor superheterodinos reales, mediante un modelo software basado en la aplicación ADS de Agilent.

Partiendo de las especificaciones y de unas prácticas en el laboratorio proporcionadas por el fabricante, se pretende analizar cada uno de estos bloques, resaltando algunas de sus características y parámetros más importantes, y también en ocasiones, aspectos relevantes que conciernen a técnicas de diseño de los mismos. También se establecerán comparativas entre los resultados obtenidos con equipamiento de radiocomunicación y los del modelo software elegido según cada caso.

La intención de este Proyecto es proporcionar un apoyo alternativo a aquellos alumnos que hagan las prácticas mencionadas anteriormente, servir como referencia para diseños de bloques de RF y destacar las bondades y limitaciones de cada modelo.

Índice

Prefacio	I
Índice	III
Índice de Figuras	XI
Índice de Tablas	XIX
Lista de Acrónimos	XXI
1 Introducción	1
1.1 Introducción al Proyecto	1
1.2 Objetivos y alcances	2
1.3 Estructura	3
2 ADS de Agilent	5
2.1 Introducción	5
2.2 Análisis mediante simulación	7
2.2.1 Herramientas	10

3	Fundamento teórico	13
3.1	La arquitectura superheterodina	13
3.1.1	Introducción	13
3.1.2	Configuración de la radio superheterodina .	15
3.2	Amplificadores	19
3.2.1	Amplificadores de pequeña señal	19
3.2.1.1	Definiciones de ganancia	21
3.2.1.2	Redes de adaptación	25
3.2.1.3	Adaptacion de impedancia para ganancia máxima	26
3.2.2	Amplificadores de bajo ruido	34
3.2.3	Amplificadores de potencia	39
3.2.3.1	Optimización de la potencia de salida con capacidades parásitas del transistor despreciables	39
3.2.3.2	Load pull	46
3.3	Mezcladores	52
3.3.1	Detector de producto	52
3.3.2	Comportamiento no lineal del mezclador . .	55
3.3.2.1	Comportamientos no lineales con un solo tono de RF	55
3.3.2.2	Comportamientos no lineales dos tonos de RF	58

3.4	Filtros de microondas	63
3.4.1	Definiciones	63
3.4.2	Prototipo paso de baja	66
4	Modelo software	69
4.1	Introducción	69
4.1.1	El transmisor	69
4.1.2	El receptor	71
4.2	Amplificador de bajo ruido	73
4.2.1	Caracterización del amplificador de bajo ruido (LNA) usando el analizador vectorial de red (VNA)	75
4.2.1.1	Aislamiento	77
4.2.1.2	Reflexión a la entrada del circuito	78
4.2.1.3	ROE	79
4.2.1.4	Reflexión a la salida del circuito .	79
4.2.2	Caracterización del amplificador de bajo ruido (LNA) usando el analizador de es- pectro (SA)	82
4.2.2.1	Medida del aislamiento	83
4.2.3	Caracterización del amplificador de bajo ruido (LNA) usando el analizador de figura de ruido	85

4.3	Amplificador de potencia	87
4.3.1	Diseño de las redes de adaptación del amplificador de potencia utilizando ADS	87
4.3.2	Caracterización del amplificador de potencia (PA) usando el analizador vectorial de red (VNA)	97
4.3.2.1	Medidas de reflexión	99
4.3.2.2	Pérdida de retorno a la salida	100
4.3.2.3	Medida de la ganancia de compresión con barrido en frecuencia.	101
4.3.3	Caracterización del amplificador de potencia (PA) usando el analizador de espectro (SA)	103
4.3.3.1	Medidas de ganancia, compresión de ganancia y distorsión armónica con el analizador de espectro.	103
4.3.3.2	Distorsiones armónicas.	105
4.3.3.3	Medida de aislamiento	106
4.3.3.4	Medidas del punto de intercepto de tercer orden.	108
4.3.3.5	Verificación del punto de intercepto de tercer orden.	109
4.4	Filtro de RF	110

4.4.1	Introducción	110
4.4.2	Caracterización del filtro RF usando en ana- lizador vectorial de red (VNA)	110
4.4.2.1	Medidas de reflexión	114
4.4.3	Caracterización del filtro de RF usando el analizador de espectro (SA)	115
4.5	Mezclador	118
4.5.1	Caracterización del mezclador usando el ana- lizador vectorial de red (VNA)	118
4.5.1.1	Medida del VSWR del puerto RF/IF mediante el analizador de vecto- rial de red	118
4.5.1.2	Medida del ROE en el puerto de LO mediante el VNA	122
4.5.1.3	Medida de S_{21}	124
4.5.1.4	Medida del aislamiento de LO a RF125	
4.5.1.5	Medida del aislamiento de LO a IF	125
4.5.2	Caracterización del mezclador usando el ana- lizador de espectro (SA)	126
4.5.2.1	Medidas de ganancia de compresión	129
5	Conclusiones y líneas futuras de trabajo	135
5.1	Conclusiones	135

5.2	Líneas futuras de trabajo	137
Apéndices		139
Apéndice A Guía de inicio		141
A.1	Quick Start Guide	141
Apéndice B Prácticas de laboratorio		143
B.1	Low Noise Amplifier (LNA) Characterization using Vector Network Analyzer (VNA)	143
B.2	Low Noise Amplifier (LNA) Characterization using Spectrum Analyzer (SA)	143
B.3	Low-Noise Amplifier Characterization Using Noise Figure Analyzer	143
B.4	Power Amplifier (PA) Characterization using Vec- tor Network Analyzer (VNA)	144
B.5	Power Amplifier (PA) Characterization using Vec- tor Network Analyzer (VNA)	144
B.6	Power Amplifier (PA) Characterization using Spec- trum Analyzer (SA)	144
B.7	Filter Characterization using Vector Network Analy- zer (VNA)	144
B.8	Filter Characterization using Spectrum Analyzer (SA)	145

B.9 Mixer Characterization using Vector Network Analyzer (VNA)	145
B.10 Filter Characterization using Spectrum Analyzer (SA)	145
Bibliografía	147

Índice de Figuras

2.1	Vista general de ADS. Ventanas de esquemático y Layout.	6
2.2	Imágenes y tablas en ADS.	7
2.3	Ejemplo de análisis DC.	8
2.4	Ejemplo de análisis AC.	8
2.5	Ejemplo de análisis de parámetros S.	9
2.6	Ejemplo de análisis Harmonic Balance.	10
2.7	Dispositivos analizables con Smarts Simulation Wizard.	11
3.1	Diagrama de bloques de un transceptor superheterodino full-duplex	15
3.2	Estructura básica del amplificador	20

3.3	Estructuras para la computación del cociente de transferencia de potencia de una red de dos puertos: (a) esquemático eléctrico; (b) gráfica de flujo de señal del amplificador; (c) gráfica de flujo de señal del generador	23
3.4	Configuración para la medida de los parámetros de ruido del transistor	37
3.5	Amplificador con un solo transistor	40
3.6	Test de configuración para el load pull del transistor	48
3.7	Contornos de load pull del amplificador de la . . .	51
3.8	Símbolo del mezclador	52
3.9	Ejemplo de espectro de IF, con excitación sinusoidal de RF para tres niveles de potencia de RF . . .	57
3.10	Ejemplo de espectro de IF, con excitación sinusoidal de dos tonos de RF para tres niveles de potencia de RF	60
3.11	Ejemplo de curva de compresión simulada	62
3.12	Esquemático básico de un filtro. Red de dos puertos sin pérdidas.	64
3.13	Respuesta del filtro ideal paso de baja.	67
4.1	Transmisor y Receptor.	69
4.2	Diagrama de bloques del transmisor.	70

4.3	Transmisor.	71
4.4	Diagrama de bloques del receptor.	72
4.5	Receptor.	72
4.6	Esquemático del amplificador de potencia.	73
4.7	Esquemático del amplificador simplificado.	74
4.8	Esquemático del amplificador para el modelo.	74
4.9	Ganancia del LNA entre 700 MHz y 1,5 GHz.	75
4.10	Barrido de la fase de S_{21} entre 700 MHz y 1,5 GHz.	76
4.11	Retraso de grupo del LNA entre 700 MHz y 1,5 GHz	77
4.12	Ecuación para definir el aislamiento	77
4.13	Aislamiento del LNA entre 700 MHz y 1 GHz	78
4.14	Reflexión a la entrada del LNA entre 700 MHz y 1,5 GHz	78
4.15	Ecuación para definir el ROE (VSWR)	79
4.16	Ecuación para definir la pérdida de retorno a la salida	80
4.17	Pérdida de retorno del LNA entre 700 MHz y 1 GHz	80
4.18	Carta de Smith para la impedancia de salida	81
4.19	Opción Smart Simulation Wizard en el LNA	82
4.20	Opción Smart Simulation Wizard en el LNA para calcular el aislamiento	83
4.21	Ganancia del LNA entre 700 MHz y 900 MHz	85
4.22	Figura de ruido del LNA entre 700 MHz y 900 MHz	86

4.23	Esquemático del amplificador de potencia	87
4.24	Análisis DC del amplificador de potencia	88
4.25	Técnica load pull para el amplificador de potencia en ADS	89
4.26	Barrido en la Carta de Smith	90
4.27	Expresiones de contorno de potencia, 1	91
4.28	Expresiones de contorno de potencia, 2	91
4.29	Expresiones de contorno de potencia, 3	91
4.30	Expresiones de contorno de potencia, 4	92
4.31	Expresiones de contorno de potencia, 5	92
4.32	Expresiones de contorno de potencia, 6	92
4.33	Red de adaptación de salida para el amplificador de potencia	93
4.34	Cálculo de la impedancia vista a la entrada de la red de adaptación	93
4.35	Ecuación para el cálculo de la impedancia	93
4.36	Parte real de la impedancia de la red	94
4.37	Parte imaginaria de la impedancia de la red	94
4.38	Cálculo de la impedancia de entrada	95
4.39	Valores de Z_{in} para distintas frecuencias	95
4.40	Red de adaptación a la entrada	96
4.41	Amplificador de potencia con redes de adaptación a la entrada y salida	96

4.42	Amplificador de potencia con redes de adaptación a la entrada y salida, 2	97
4.43	Ganancia del amplificador entre 700 MHz y 1 GHz	98
4.44	s_{12} del amplificador entre 700 MHz y 1 GHz	99
4.45	s_{11} entre 700 MHz y 1 GHz	100
4.46	s_{22} a la salida del amplificador entre 700 MHz y 1 GHz	101
4.47	Ganancia y niveles de potencia de los armónicos de salida para un barrido a la entrada entre -15 y 0 dBm	102
4.48	Resultados para hallar la pérdida de compresión de 1 dB	105
4.49	Ganancia del amplificador y potencia de salida con respecto a la potencia de entrada	106
4.50	Configuración para hallar el aislamiento en el am- plificador de potencia	107
4.51	Valores de potencia de los distintos armónicos a la salida del circuito	108
4.52	Valores de P y Δ usados en el cálculo del TOI . . .	110
4.53	Filtro de RF. Modo parámetros S	111
4.54	Filtro de RF. Barrido de s_{21} en frecuencia	111
4.55	Retraso de grupo del filtro de RF	112
4.56	Fase del filtro de RF según ADS	113

4.57	Fase del filtro de RF según el VNA	113
4.58	s_{11} del filtro de RF según ADS	114
4.59	Funciones de transferencia del filtro de RF según el VNA y ADS	115
4.60	Caracterización del filtro mediante SA en laboratorio	115
4.61	Análisis de espectro del filtro en ADS	116
4.62	Esquemático del filtro teniendo en cuenta pérdidas en los componentes	117
4.63	Esquemático del mezclador	118
4.64	Configuración 1 para medidas en el mezclador . . .	119
4.65	Creación del subcircuito para medidas con el mez- clador	119
4.66	Opción Smart Simulation Wizard. Configuración 1 para el mezclador.	120
4.67	Ecuación para hallar la VSWR.	120
4.68	Tabla de salida de VSWR para distintas frecuen- cias del mezclador.	121
4.69	Opción Smart Simulation Wizard. Configuración 2 para el mezclador.	122
4.70	Pérdida de retorno a la entrada de 10 MHz a 100 MHz según ADS	122
4.71	Pérdida de retorno a la entrada de 10 MHz a 100 MHz hallada en el laboratorio.	123

4.72 Opción Smart Simulation Wizard. Configuración 3 para el mezclador.	123
4.73 Configuración 2 para medidas en el mezclador . . .	124
4.74 Opción Smart Simulation Wizard. Configuración 2 para el mezclador.	125
4.75 Barrido de s_{21} del mezclador de 700 a 900 MHz hallado en el laboratorio	126
4.76 Barrido de s_{21} del mezclador de 700 a 900 MHz con ADS	127
4.77 Medida del aislamiento de LO a RF con el VNA .	128
4.78 Medida del aislamiento de LO a IF con el VNA . .	129
4.83 Opción Smart Simulation Wizard. Configuración 4 para el mezclador.	129
4.79 Configuración 3 para medidas en el mezclador . . .	130
4.80 Opción Smart Simulation Wizard. Configuración 3 para el mezclador.	131
4.81 Espectro de salida del mezclador entre 10 MHz y 900 MHz.	132
4.82 Espectro de salida del mezclador entre 10 MHz y 900 MHz según ADS.	132
4.84 Potencia de salida frente a potencia de entrada del mezclador en ADS	133

4.85	Potencia de salida frente a potencia de entrada del mezclador en el laboratorio de instrumentación . .	133
5.1	Ejemplo simulación EM con layout, 1.	136
5.2	Ejemplo simulación EM con layout, 2.	136

Índice de Tablas

4.1	Tabla 1	76
4.2	Tabla 2	77
4.3	Tabla 3	79
4.4	Tabla 4	79
4.5	Tabla 5	80
4.6	Tabla 6	81
4.7	Tabla 7	82
4.8	Tabla 8	84
4.9	Tabla 9	98
4.10	Tabla 10	99
4.11	Tabla 11	100
4.12	Tabla 12	101
4.13	Tabla 13	103
4.14	Tabla 14	104
4.15	Tabla 15	105
4.16	Tabla 17	106
4.17	Tabla 18	107

4.18	Tabla 19	109
4.19	Tabla 20	112
4.20	Tabla 21	128
4.21	Tabla 22	131

Lista de Acrónimos

ADC	Analog-to-Digital Converter
ADS	Advanced Design System
BB	Base Band
BPF	Band Pass Filter
DAC	Digital-to-Analog Converter
ETSI	Escuela Técnica Superior de Ingeniería
FA	Intermediate Frequency Amplifier
IF	Intermediate Frequency
LNA	Low Noise Amplifier
LPF	Low Pass Filter
LO	Local Oscillator
PA	Power Amplifier
RF	Radio Frequency
RFA	Radio Frequency Amplifier
SAW	Surface Acoustic Wave
TSC	Teoría de la Señal y Comunicaciones
UHF	Ultra High Frequency
US	Universidad de Sevilla
VCO	Voltage-controlled oscillator

VGA Variable Gain Amplifier

VHF Very High Frequency

VNA Vector Network Analyzer