



PRESENTACIÓN

Breve descripción:

This course of Communication Electronics addresses from both theoretical and practical point of view the design of the different building blocks (Low Noise and Power Amplifiers, mixers, oscillators and frequency synthesizers) of a RF communication system.

Through the different design and characterization labs. the student will go through different steps in the design cycle of a RF circuit from its conception (design), to its validation (characterization).

The student will use professional software tools such as Cadence and ADS design tools and will acquire the necessary knowledge to use professional RF measurement equipment such as: vector network analyzers (VNA), signal generators (SG) or spectrum analyzers (SA).

Titulación (Módulo/Materia):

- Ingeniería en Sistemas de telecomunicación (Bloque Especializado de Sistemas de Telecomunicación/Sistemas de Comunicación)

Detalles:

- **ECTS:** 6 ECTS
- **Curso, semestre:** 3er curso, 2º semestre
- **Carácter:** Obligatorio
- **Idioma:** English

Profesores de la asignatura:

- Berenguer Pérez, Roque José / Profesor Catedrático
- García Muñoz, Francisco Javier / Colaborador docente
- Sánchez Basterrechea, Manuel / Colaborador docente

RESULTADOS DE APRENDIZAJE (Competencias)

INGENIERÍA EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN

CG9 - Capacidad de trabajar en un grupo multidisciplinar y en un entorno multilingüe y de comunicar, tanto por escrito como de forma oral, conocimientos, procedimientos, resultados e ideas relacionadas con las telecomunicaciones y la electrónica.

CE23 - Capacidad de análisis de componentes y sus especificaciones para sistemas de comunicaciones guiadas y no guiadas.

CE24 - Capacidad para la selección de circuitos, subsistemas y sistemas de radiofrecuencia, microondas, radiodifusión, radioenlaces y radiodeterminación.



PROGRAMA

Theory

1. Introduction

- Block diagram of a wireless communication system
- Description of some applications using RF 'front-ends'

2. Basic concepts

- Wavelength, Transmission lines, Smith Chart, Quality Factor (Q), Frequency response
- Reflection (return loss, S_{11} , VSWR, ...) and transmission parameters (Gain, insertion loss, S_{21} , ...)
- S parameters, Reference plane, ...

3. Impedance matching

Introduction to impedance matching in RF systems.

- Matching network types
- Wideband matching
- Narrowband matching
- Matching networks
- Forbidden areas
- Increasing matching network bandwidth
- Increasing matching network quality factor
- Impedance matching using transmission lines

4. Transistors and passives components

Description of the different types of transistors and passives components available in silicon processes.

- Active components
 - Transistors: SiGe, Bipolar, MOS
- Passive components
 - Resistors: Polysilicon, MOS
 - Capacitors
 - Varactors: PN Junction, MOS, accumulation mode MOS varactors
 - Inductors, Bondwire, integrated inductors and transformers

5. RF Amplifiers

Description of the different RF amplifier circuits used in integrated communication systems.

- Common source amplifier.
- Wide band amplifier design: Cascode, Unilateralization, Neutralization, Distributed, ...
- Narrow band amplifier design

6. Noise modelling in RF amplifiers

- Random processes
- Resistor noise, MOS noise (thermal, flicker ...)



- Noise sources in RF amplifiers
- Noise Factor and Noise Figure

7. Linearity and stability of RF amplifier

- Linear and non-linear behavior of a RF amplifier
- Effects of non-linear amplifiers: harmonics, gain compression, intermodulation products ...
- Cascaded non-linear amplifiers
- Isolation and stability in RF amplifiers

8. Low Noise Amplifier (LNA)

- LNA specifications: input and output impedance, gain, linearity, noise figure, ...
- Narrow band RF amplifiers: common source, common gate, inductive degeneration
- Different LNA design techniques: current re-use, inductive feedback, noise cancellation, ...

9. Mixers

- Ideal down and up conversion mixer, image frequency issue, gain conversion, noise (SSB and DSB), linearity ...
- Different mixer types and architectures: Passive and active mixers (Gilbert cell), ...

10. Oscillators

- Operation principles: Feedback theory, Barkhausen criteria, ...
- Specifications for a voltage controlled oscillator: frequency range, Oscillator gain, phase noise, ...
- Oscillator architectures: Colpitts Oscillator, Clapp Oscillator, Hartley Oscillator, Voltage Controlled Oscillator (VCO).
- Phase noise: basic concepts, phase noise theory, noise sources, design methodology, ...

11. Frequency synthesizers

- Phase Locked Loop
- Architectures:
 - Integer-N
 - Fractional-N
 - SD Fractional-N

12. Power Amplifiers

- Understanding the specifications of a RF power amplifier (Gain, Saturated output power, AM-AM and AM-PM distortion, etc ...)
- Types of RF power amplifiers (Class A, B, AB, C, D ...)

Design Labs.

- Lab 1. Impedance matching calculation
- Lab 2. Design of a Low Noise Amplifier (LNA)
- Lab 3. Design of a Voltage Controlled Oscillator (VCO)

RF Measurement Labs.



- Lab 1. Design and Characterization of a LC network
- Lab 2. Measurement and characterization of a Low Noise Amplifier (LNA)

Teoría

Tema 1. Introducción

- Diagrama de bloques de un sistema de comunicaciones inalámbrico
- Descripción de algunas aplicaciones que emplean 'front-ends' de RF

Tema 2. Conceptos básicos

- Longitud de onda, Líneas de transmisión, Carta de Smith, Factor de calidad (Q), Respuesta frecuencial
- Parámetros de caracterización: parámetros de reflexión y transmisión
- Parámetros S: ventajas, principios de medida de parámetros S, cálculos de parámetros S, plano de referencia

Tema 3. Adaptación de impedancias

Introducción a la adaptación de impedancias en sistemas y componentes de RF.

- Tipos de redes de adaptación
- Adaptación de banda ancha
- Adaptación de banda estrecha
- Redes de adaptación
- Áreas prohibidas
- Aumento del ancho de banda
- Aumento del factor de calidad (Q) de la carga
- Adaptación con líneas de transmisión

Tema 4. Transistores y componentes pasivos

Descripción de tipos de transistores y componentes pasivos disponibles en las distintas tecnologías disponibles para la integración de circuitos.

- Componentes activos
 - Transistores: SiGe, Bipolar, MOS
- Componentes pasivos
 - Resistencias: Polisilicio, MOS
 - Capacidades: Capacidades de alta densidad (Polarización y desacoplo), Capacidades de alto factor de calidad (Q) (Señal)
 - Varactores: Unión PN, MOS, MOS en modo de acumulación
 - Inductores: *Bondwire*, Integrados, transformadores integrados

Tema 5. Amplificadores de RF

Descripción de diferentes arquitecturas de amplificadores de RF empleados en los diseños de componentes integrados de RF.

- Amplificador de fuente común.
- Amplificadores de banda ancha: Cascodo, Unilateratización, Neutralización, Distribuidos, ...



- Amplificadores sintonizados de banda estrecha

Tema 6. Modelado de ruido en amplificadores de RF

Introducción al modelado de ruido en amplificadores de RF con el objeto de conocer las técnicas disponibles para la optimización del ruido en los diseños de amplificadores integrados de RF.

- Procesos aleatorios
- Ruido en resistencias y transistores MOS
- Fuentes de ruido en amplificadores
- Factor de ruido, figura de ruido

Tema 7. No-linealidades y estabilidad en amplificadores de RF

Introducción a la linealidad y estabilidad en amplificadores de RF con el objeto de conocer las técnicas disponibles para la optimización de la linealidad y estabilidad en los diseños de amplificadores integrados de RF.

- Comportamiento lineal y no lineal
- Efectos de la no linealidad: armónicos, compresión de ganancia, desensitización y bloqueo del amplificador, modulación cruzada, intermodulación, ...
- Etapas no-lineales en cascada
- Aislamiento y estabilidad

Tema 8. Amplificadores de bajo ruido

Descripción de amplificadores de bajo ruido incluyendo principios de operación, arquitecturas de LNA y análisis de ruido y linealidad.

- Parámetros del amplificador de bajo ruido: modelo de pequeña señal, impedancias entrada-salida, ganancia, linealidad, figura de ruido
- Amplificadores de bajo ruido de banda estrecha: fuente común, puerta común, degeneración inductiva
- Técnicas de diseño de LNA: re-uso de corriente, retroalimentación, cancelación de ruido, conmutación de bandas frecuenciales, ...

Tema 9. Mezcladores

Descripción de los mezcladores incluyendo arquitecturas, modos de operación, ...

- Comportamiento ideal del mezclador, frecuencia imagen, ganancia de conversión, ruido (SSB y DSB), linealidad, ...
- Tipos de mezcladores, arquitecturas y componentes: Mezcladores Pasivos, Mezcladores activos (Balanceados – Gilbert Cell), ...

Tema 10. Osciladores

Descripción de osciladores incluyendo principios de operación, arquitectura de oscilador centrado en VCO y análisis de ruido de fase.

- Principio de operación: Teoría de la retroalimentación, Criterios de Barkhausen, ...
- Parámetros de un oscilador controlado por tensión: Rango de frecuencia, Ganancia del oscilador, Ruido de fase, sensibilidad a ruido en la alimentación, ...



Universidad de Navarra

- Arquitecturas de oscilador: Colpitts Oscillator, Clapp Oscillator, Hartley Oscillator, Voltage Controlled Oscillator (VCO).
- Ruido de fase: conceptos básicos, teoría del ruido, fuentes del ruido, metodología diseño, ...

Tema 11. Sintetizadores de frecuencia

Descripción de diferentes arquitecturas de los sintetizadores de frecuencia (PLL) y sus componentes:

- Phase Locked Loop
- Arquitecturas:
 - Integer-N
 - Fractional-N
 - SD Fractional-N

Tema 12. Amplificadores de potencia

- Descripción básica de los parámetros que definen a un amplificador de potencia (Ganancia, Potencia de saturación de salida, P-1dB, distorsión AM-AM y AM-PM, ...)
- Clases de amplificadores de potencia (Clase A, B, AB, C, D ...)

Prácticas de diseño

- Práctica 1. Cálculo de redes de adaptación
- Práctica 2. Diseño de un amplificador de bajo ruido
- Práctica 3. Diseño de un oscilador

Prácticas en el laboratorio de medidas de RF

- Práctica 1. Diseño y caracterización de una red LC
- Práctica 2. Caracterización de un amplificador de bajo ruido

ACTIVIDADES FORMATIVAS

Theoretical sessions

The student must attend the theoretical classes since they are the basis to be able to solve the different design challenges and the go through the different labs.

Design challenges in class.

Design challenges will be proposed and resolved in class. They will be challenges where the theory given in the class is applied.

Design Labs.

In the computer room, the different labs. to be carried out using Cadence and ADS will be explained. The guides of the labs. will be available on the website of the subject. The student is expected to work the lab. guides during the laboratory class and present by the date indicated by the professor the corresponding report. It will be necessary to attend all the laboratories and present all the reports so that it is positively valued in the final grade.

Measurement Labs.



Universidad de Navarra

In the RF measurement laboratory, the characterization of some of the elements previously designed will be carried out. The practices will be carried out in groups. The guides for the different labs. will be available on the website of the subject. The student is expected to work the lab. guides during the laboratory class and present by the date indicated by the professor the corresponding report. It will be necessary to attend all the laboratories and present all the reports so that it is positively valued in the final grade.

Time distribution

Theoretical classes: $18 \times 1.5 = 27h$

Design Labs.: $12 \times 1.5 = 18h$

Measurement Labs.: $8 \times 1.5 = 12h$

Personal study: 117.5h

Exam: 5h

Total: 179.5h

Sesiones de teoría.

El alumno debe asistir a las clases teóricas ya que son la base para poder resolver las cuestiones de diseño y las prácticas de la asignatura.

Cuestiones de diseño en clase.

Se plantearán y resolverán cuestiones de diseño en clase. Serán cuestiones donde se aplica la teoría dada en la asignatura.

Prácticas de Diseño

En la sala de ordenadores se explicarán las prácticas a realizar en *Cadence* y *ADS*. Los guiones de las prácticas se encontrarán disponibles en la web de la asignatura. Se espera que el alumno trabaje la práctica durante la clase de laboratorio y la entregue para la fecha señalada por el profesor el informe correspondiente. Será necesario asistir a todos los laboratorios y entregar todas las prácticas para que se valore positivamente en la nota final.

Prácticas de medida en el laboratorio de RF

En el laboratorio de medidas de RF se realizará la caracterización de alguno de los elementos diseñado anteriormente. Las prácticas se realizarán en grupo. Los guiones de las prácticas se encontrarán disponibles en la web de la asignatura. Se espera que el alumno trabaje la práctica durante la clase de laboratorio y la entregue para la fecha señalada por el profesor el informe correspondiente. Será necesario asistir a todos los laboratorios y entregar todas las prácticas para que se valore positivamente en la nota final.

Distribución tiempo

Clases teóricas: $18 \times 1.5 = 27h$

Prácticas sobre el ordenador en *Cadence*: $12 \times 1.5 = 18h$

Prácticas en el laboratorio de medidas de RF: $8 \times 1.5 = 12h$



Universidad
de Navarra

Estudio personal: 117.5h

Examen: 5h

Total: 179.5h

EVALUACIÓN

Final grade will be based on the number of points obtained after the review of the different lab. reports and the final exam. Find below the distribution of points for the different labs. and the final exam.

Measurement Lab. reports – 2.5pts.

- *Lab. I – LC Network characterization*
- *Lab. II – LNA Measurement*

Design Lab. reports – 2.5 pts.

- *Lab. I – Impedance matching*
- *Lab. II – LNA Design*
- *Lab. III – VCO Design*

Final Exam – 5pts.

- Individual design lab. – 2.5 pts.
- Theory – 2.5 pts.

In order to pass the subject four conditions are required:

- Total number of pts. \geq 5pts.
- Individual design lab. \geq 1.25pts
- Individual design lab. & Theory \geq 2.5pts.
- Measurement lab. reports \geq 1.25pts.

The evaluation of the subject in its extraordinary call will follow the same criteria in terms of percentages as the ordinary call giving the opportunity, to those who wish, to save the grade obtained, in the labs both design and measurement and only repeating the final exam.

La nota final se basará en la puntuación obtenida tras la revisión de los diferentes informes de las prácticas de laboratorio y el examen final. A continuación puede encontrar la distribución de puntos para las distintas prácticas y el examen final.

Informes de las prácticas de medida de RF – 2.5pts.

- *Lab. I – Caracterización de una red LC*
- *Lab. II – Caracterización de un LNA*

Informes de las prácticas de diseño – 2.5 pts.

- *Lab. I – Adaptación de impedancias*
- *Lab. II – Diseño de un LNA*



Universidad de Navarra

- **Lab. III – Diseño de un VCO**

Examen final – 5pts.

- **Examen individual de diseño – 2.5 pts.**
- **Teoría – 2.5 pts.**

Para aprobar satisfactoriamente la asignatura se requiere cumplir las cuatro condiciones de abajo:

- **Número total de puntos. \geq 5pts.**
- **Examen individual de diseño \geq 1.25pts**
- **Examen individual de diseño & Teoría \geq 2.5pts.**
- **Informes prácticas de medida de RF \geq 1.25pts.**

La evaluación de la asignatura en su convocatoria extraordinaria seguirá los mismos criterios en cuanto a porcentajes que la convocatoria ordinaria dando la oportunidad, al que lo desee, de guardar la nota obtenida, en las prácticas tanto de diseño como de medida de RF y sólo repitiendo el examen final.

ATENCIÓN: Se recuerda que cualquier intento de fraude, copia, plagio u otro comportamiento irregular supone una infracción grave tal y como está contemplado en el título IV "Normas de disciplina académica de los estudiantes" dentro del [Sistema de normas sobre la convivencia](#) en la Universidad de Navarra.

HORARIOS DE ATENCIÓN

Please contact by e-mail to professors Roc Berenguer and David del Rio.

It will be informed in a timely manner of the different seminars that might be organized throughout the semester.

Contactar por correo electrónico con los profesores de la asignatura Roc Berenguer y David del Rio.

Se informará oportunamente de sesiones de atención de dudas o seminarios que puedan organizarse a lo largo del semestre

BIBLIOGRAFÍA

- **"RF Microelectronics"**, Ed.: Prentice Hall, 2nd Ed. (2011) Behzad Razavi – University of California, Los Angeles (UCLA) [Localízalo en la biblioteca](#)
- **"Network Analyzer Basics"**, *Back to the basics Series*, (2000) Agilent Technologies Localízalo en la biblioteca
- **"High Speed Communication Circuits"**, *MIT OPEN COURSE WARE*, (2005), Hae-Seung Lee – Massachusetts Institute of Technology (MIT), Michael H. Perrott – Massachusetts Institute of Technology (MIT)
- **"Integrated Circuits for Communication"**, (2005) Ali M. Niknejad – University of California, Berkeley
- **"Electrónica de Comunicaciones"**, (2007) Armando Muñoz – University of Navarra Localízalo en la biblioteca