

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE COMUNICACIONES



TESIS DOCTORAL

Amplificadores de Banda Ancha y Bajo Ruido Basados en Tecnología de GaAs para Aplicaciones de Radiometría

Autor: Beatriz Aja Abelán

**Directores: M^a Luisa de la Fuente Rodríguez
Eduardo Artal Latorre**

**Tesis Doctoral presentada en la Universidad de Cantabria para la obtención
del título de Doctora por la Universidad de Cantabria**

Santander, Octubre de 2006

Capítulo 1

Introducción

1.1. Introducción

El objetivo principal de la tesis, como se ha comentado anteriormente, es el diseño y caracterización de los módulos posteriores en las bandas de 30 y 44 GHz, para los receptores (radiómetros) que se van a embarcar en el satélite de la misión científica espacial Planck de la Agencia Europea del Espacio (ESA), [1]-[4]. Las tareas de la tesis incluyen el diseño de amplificadores de banda ancha y de bajo ruido, su integración en los módulos posteriores para las bandas citadas, con la construcción de prototipos y su caracterización mediante técnicas de medida desarrolladas para este fin. Estos prototipos han permitido validar los diseños de los amplificadores, como paso previo a la transferencia a la industria espacial de toda la tecnología desarrollada, para la producción de los equipos de vuelo que finalmente irán en el satélite Planck.

En estas bandas de frecuencia milimétricas, y con un ancho de banda requerido del 20%, no se han encontrado productos comerciales, por lo que se justifica el objetivo innovador de la tesis.

La misión Planck tiene por objeto la investigación astronómica en el rango de frecuencias milimétricas y submilimétricas. Se generarán mapas calibrados de alta sensibilidad de la totalidad del cielo. La misión Planck permitirá caracterizar pequeñas fluctuaciones en la radiación cósmica de fondo de microondas localizando sus anisotropías. Un consorcio internacional de instituciones de investigación es responsable de la carga útil correspondiente al instrumento científico. El instrumento de baja frecuencia de la misión Planck (LFI – Low Frequency Instrument) es un receptor de tipo radiómetro diferencial llamado, en concreto, radiómetro de comparación continua, que tiene por objeto minimizar el ruido $1/f$ debido a fluctuaciones de ganancia y de temperatura de ruido [5]-[7]. Los receptores del LFI son radiómetros de detección directa en los que la señal es amplificada suficientemente y luego detectada con un diodo. Estos receptores están en las bandas de 30 GHz, 44 GHz y 70 GHz. Los módulos posteriores (BEM-Back-End Module) de las bandas de 30 y 44 GHz, se han realizado en colaboración de la Universidad Politécnica de Cataluña con la Universidad de Cantabria [8]-[10]. La estabilidad de la cadena amplificadora es uno de los elementos críticos. Otro aspecto necesario para la supresión de errores sistemáticos es el buen comportamiento de los amplificadores del BEM en cuanto a ruido $1/f$.

La tesis cubre tanto objetivos científicos como tecnológicos y de aplicación industrial directa en el sector espacial. En los objetivos científicos se incluyen nuevos métodos para caracterizar el comportamiento de los receptores, tales como la temperatura equivalente de ruido y el ancho de banda efectivo. En los tecnológicos, el diseño y caracterización experimental de los amplificadores de banda ancha y de los módulos receptores realizados. Los resultados de la tesis son de clara aplicación industrial, ya que el grupo investigador de la Universidad de Cantabria donde se ha realizado la tesis, es el responsable de la fabricación y la entrega al consorcio Planck-LFI de las unidades que irán en el satélite. Los contenidos y objetivos de esta tesis están claramente orientados a la contribución española en la misión Planck-LFI.

Para realizar pruebas de integración, previas a las de los modelos de vuelo, se han fabricado y medido demostradores representativos, que se han integrado en el Observatorio Radioastronómico de Jodrell Bank (Manchester, Inglaterra) con los módulos frontales que allí se han desarrollado [11]-[15]. Aunque la integración final de los equipos de vuelo, se realiza en Alcatel Alenia-Spazio (antes Laben) en Milán (Italia), la caracterización de algunas magnitudes de los módulos frontales requiere la conexión con los módulos posteriores, de ahí la conveniencia de disponer de demostradores representativos de los modelos de vuelo, es decir de los que se instalarán en el satélite.

En la actualidad, las unidades de vuelo de los módulos de ambas frecuencias, 30 y 44 GHz, ya se han fabricado y se han entregado para su integración en el satélite, tras pasar todas las exigentes pruebas que requieren los equipos embarcados en satélite. La empresa encargada de la fabricación de los módulos posteriores de vuelo ha sido Mier Comunicaciones (La Garriga – Barcelona).

1.2. Estructura de la tesis

Esta tesis está estructurada del siguiente modo:

En el capítulo 1 se incluye una introducción.

El capítulo 2 contiene los conceptos básicos de radiometría, con una breve introducción histórica y una revisión de los tipos de radiómetros de potencia total y de correlación. También se hace una descripción del proyecto Planck y de su instrumento de baja frecuencia (LFI - Low Frequency Instrument). Por último se incluye, el estado de la técnica de los amplificadores de bajo ruido, que se utilizan en receptores de radiometría.

En el capítulo 3 se hace un análisis de un radiómetro del instrumento LFI, describiendo su funcionamiento y principales características.

El capítulo 4 está dedicado a los amplificadores en tecnología monolítica que han sido diseñados y caracterizados, para los módulos posteriores (BEM – Back End Module) de los radiómetros de 30 y 44 GHz. Se describe la tecnología empleada, las técnicas de diseño, y los resultados de dos amplificadores en la banda Ka, y uno en la banda Q. También se incluye un análisis de comparación entre los transistores de modo enriquecimiento y de modo depleción en la misma tecnología. Se muestran los resultados de dos amplificadores diseñados con la misma topología y el mismo número de etapas, cada uno de ellos con un tipo de transistor diferente.

El capítulo 5 contiene el diseño, fabricación y caracterización de un amplificador bajo ruido, en la banda Q, en tecnología híbrida, utilizando transistores PHEMT comerciales de GaAs.

El capítulo 6 describe el BEM de 30 GHz y el BEM de 44 GHz, y cada uno de sus componentes. Se incluye un resumen de todos los prototipos que han sido construidos y caracterizados. Se hace una breve descripción de los módulos posteriores construidos en Mier Comunicaciones.

La caracterización de los prototipos de los módulos posteriores, y la descripción de los métodos de medida, se incluyen en el capítulo 7.

En el capítulo 8 se presentan los elementos de los módulos frontales (FEM – Front End Modules) a 30 y 44 GHz, diseñados y construidos en JBO (Jodrell Bank – Universidad de Manchester, UK), y las medidas obtenidas de la integración de los prototipos tanto del FEM como del BEM a 30 GHz, y del modelo de calificación (QM – Qualification Model) del FEM a 44 GHz con los prototipos del BEM a 44 GHz.

Por último el capítulo 9 está dedicado a las conclusiones.

Chapter 1

Introduction

1.1. Introduction

The main goal of this Thesis has been the design and characterization of the Back-End Modules (BEM) at 30 and 44 GHz for the receivers to be shipped in the Planck satellite, a scientific space mission of the European Space Agency (ESA) [1]-[4]. The activities in this Thesis include the design of broadband low noise amplifiers, the integration of those amplifiers in the BEM at the mentioned frequency bands, and the assembly and characterization of several prototypes using developed measurement techniques. These prototypes have confirmed the amplifier designs as a previous step to the transference of all the developed technology to the space industry in order to produce flight models (FM) for the Planck Satellite.

Because of the high frequencies in the millimetre wave frequency range, and the required 20 per cent of bandwidth, there is not a commercially available product, which justifies the innovative goal of this Thesis.

The goal of the Planck mission is the astronomical investigation in the submillimetre and millimetre wave frequency range. High sensitivity calibrated maps of the whole sky will be obtained. The Planck mission will allow characterising small fluctuations of the Cosmic Microwave Background (CMB) locating its anisotropies. An international consortium of research institutions is the responsible of the payload corresponding to the scientific instrument. The low frequency instrument (LFI) is a differential radiometer of continuous comparison and with the aim of minimizing the $1/f$ noise due to gain and noise temperature fluctuations [5]-[7]. The LFI receivers are direct detection radiometers where the signal is highly amplified and then detected by a diode. These receivers work in the frequency bands of 30 GHz, 44 GHz and 70 GHz. The Back end modules of the 30 and 44 GHz have been developed as collaboration between the Universidad Politécnica de Cataluña and the Universidad de Cantabria [8]-[10]. The amplifier chain stability is critical. Other aspect in order to suppress systematic errors is to achieve a good behaviour in $1/f$ noise of the BEM amplifiers.

The Thesis covers scientific and technological goals and with direct industrial application in the space sector. Among the scientific goals, new methods to characterize the receiver behaviour, such as equivalent noise temperature and effective bandwidth, are included. Technical aspects are the design and experimental characterization of the broadband amplifiers and the built receiver modules. The achieved results have a clear industrial application, since the research group from the Universidad de Cantabria, where the Thesis is developed, is the responsible of manufacturing and delivering of the flight units to the Planck-LFI consortium. The contents and goals of this Thesis are clearly oriented towards the Spanish contribution in the Planck-LFI mission.

In order to perform integration tests, previous to the flight models, representative units have been manufactured and measured, and they have been integrated at Jodrell Bank Observatory from University of Manchester in England (UK) with their developed Front end modules [11]-[15]. Although the final flight model integration will be at Alcatel-Alenia-Spazio (formerly Laben) in Milan (Italia), the characterization of

some magnitudes in the Front end modules requires Back end modules, which implies the need of representative flight models similar to those to be shipped in the satellite.

Currently the flight model units at 30 and 44 GHz have been manufactured and they have been delivered for their integration in the satellite, after overcoming all the qualification tests required to be shipped. The company charged of manufacturing the flight back end modules is Mier Comunicaciones (La Garriga – Barcelona).

1.2. Thesis Structure

The Structure of this Thesis is the next:

Chapter 1 includes an introduction.

Chapter 2 contains the basic concepts about radiometry, with a brief historic introduction and a revision about different types of total power and correlation radiometer. There is also a description about the Planck project and about its low frequency instrument (LFI). Finally there is a brief summary of the low noise state-of-the-art amplifiers that are used in radiometry.

An analysis about the LFI radiometer, describing its performance and main characteristics is included in Chapter 3.

Chapter 4 is devoted to the monolithic low noise amplifiers that have been designed and characterized, to make up the Back end modules (BEM) of the radiometers at 30 and 44 GHz. In this chapter the used technology, design techniques and main results of two Ka band amplifiers and one Q-band amplifier are presented. There is also a comparative analysis between enhancement and depletion mode transistors in the same technology. Results of two designed amplifiers using the same topology and number of stages but different mode transistor type are shown.

The Chapter 5 contains the design, assembly and characterization of a Q-band MIC low noise amplifier, using a commercial PHEMT GaAs transistors.

Chapter 6 describes the 30 and 44 GHz BEM, and their components are also described. A summary with all the assembled and characterized prototypes is included. A brief description of the Back end modules manufactured at Mier Comunicaciones is given.

The Back end module prototypes characterization and the description of the used measurement techniques are detailed in Chapter 7.

In Chapter 8 the components of the Front end modules (FEM) at 30 and 44 GHz are presented. They have been designed and manufactured at JBO (Jodrell Bank – University of Manchester, UK). Several test results of the 30 GHz FEM and BEM prototypes and of the 44 GHz QM FEM and BEM prototypes are shown.

Finally Chapter 9 is devoted to the conclusions.