

CAPÍTULO 1

Introducción

Índice del capítulo

1. Motivaciones.....	2
2. Estado del Arte.....	3
3. Objetivos.....	3
4. Organización de la memoria.....	5



1. Motivaciones.

La mayoría de las cosas que se pueden medir cuantitativamente, aparecen en la naturaleza en forma analógica. Un buen ejemplo de ello es la temperatura: a lo largo de un día la temperatura no varía entre, por ejemplo, 20 °C o 25 °C de forma instantánea, sino que alcanza todos los infinitos valores que existen en ese intervalo. Otros ejemplos de magnitudes analógicas son el tiempo, la presión, la distancia o el sonido.

Para funcionar, el mundo necesita información acerca de estas magnitudes y, actualmente, la mayoría de esta información se almacena, procesa, transmite y representa mediante sistemas digitales, ¿por qué?:

- ♦ **Flexibilidad.** Un sistema digital programable permite flexibilidad a la hora de reconfigurar las operaciones de procesamiento de señales sin más que cambiar el programa. La reconfiguración de un sistema analógico implica habitualmente el rediseño del hardware, seguido de la comprobación y verificación para ver que opera correctamente.
- ♦ **Facilidad de almacenamiento.** Las señales digitales se almacenan fácilmente en soporte magnético (cinta o disco) o memorias de semiconductor, sin deterioro o pérdida en la fidelidad de la señal. Como consecuencia, las señales se hacen transportables y pueden procesarse en tiempo no real.
- ♦ **Robustez en las comunicaciones.** Los sistemas de comunicaciones digitales son más robustos que los analógicos ya que la señal digital se puede regenerar en cualquier punto de la comunicación obteniendo una señal idéntica a la original.
- ♦ **Reproducibilidad de resultados.** Dado el mismo conjunto de entradas, cualquier circuito digital que hubiera sido diseñado en la forma adecuada, siempre producirá exactamente los mismos resultados.
- ♦ **Facilidad de diseño.** Para el diseño digital no se necesitan habilidades matemáticas especiales. El comportamiento de los pequeños circuitos lógicos puede visualizarse mentalmente sin ser necesario tener ningún conocimiento especial acerca del funcionamiento de capacidades, transistores u otros dispositivos que requieren del cálculo para modelarse.
- ♦ **Programabilidad del diseño.** Gran parte del diseño digital se lleva a cabo en la actualidad escribiendo programas en *lenguajes de descripción de Hardware* (HDLs, por sus siglas en inglés), que permiten modelar tanto la estructura como la función de un circuito digital.
- ♦ **Economía.** Los circuitos digitales pueden proporcionar mucha funcionalidad en un espacio pequeño. Los circuitos que se emplean de manera repetitiva pueden "integrarse" en un solo "chip" y fabricarse en masa a muy bajo costo.
- ♦ **Avance tecnológico constante.** Cuando se diseña un sistema digital, casi siempre se sabe que habrá una tecnología más rápida, más económica o en todo caso, una tecnología superior para el mismo caso poco tiempo.

Son algunas de las ventajas de los sistemas digitales.



Entre el mundo analógico en el que vivimos y el digital que manejamos existe un nexo de unión de vital importancia que son los convertidores analógico-digital y digital-analógico.

Como finalización de los estudios de Ingeniería de Telecomunicación, es, por tanto, incuestionable el interés que supone abordar el tema de la conversión A/D.

Dado que se trata de un proyecto de VLSI, cuyo objetivo es la implementación del convertidor mediante un circuito integrado, el interés es doble para cualquier alumno que haya cursado la intensificación en electrónica.

Por ambas razones, se considera que las motivaciones para la realización de este proyecto de fin de carrera están plenamente justificadas.

2. Estado del Arte.

El desarrollo de sistemas electrónicos de muy bajo consumo es fundamental en aplicaciones como telefonía móvil, audífonos y terminales multimedia portátiles para maximizar el tiempo de vida de las baterías de estos dispositivos. En este sentido, las aplicaciones biomédicas representan un campo de gran potencial para los diseñadores electrónicos. En los últimos años muchos trabajos han implementado sistemas biomédicos como el acondicionamiento de señales cardíacas en marcapasos implantables [1]. Esta aplicación requiere de un convertidor A/D que digitalice la señal para su posterior procesado.

Consideraciones de coste y prestaciones aconsejan a la integración en un mismo chip de sistemas analógicos y digitales (SOCs de señal mixta). La modulación $\Sigma\Delta$ presenta una característica que la hace muy atractiva para este tipo de circuitos mixtos: se pueden conseguir resoluciones muy altas utilizando circuitos analógicos (amplificadores operacionales, comparadores, ...) de prestaciones modestas, perfectamente realizables en tecnología CMOS. A esto hay que unir la mejora de los procesos de fabricación, que permite el incremento de velocidad necesario para utilizar los moduladores $\Sigma\Delta$ en sistemas de comunicaciones, abriéndose más aún su campo de aplicación.

El concepto de modulación Sigma-Delta ($\Sigma\Delta$) fue patentado por Cutler en 1960. Desde entonces, su popularidad ha ido creciendo en aplicaciones que requieren convertidores analógico-digitales de alta resolución. Hoy día, los moduladores $\Sigma\Delta$ dominan completamente el mercado de convertidores de audio y de aplicaciones de muy alta resolución (instrumentación, aplicaciones médicas, etc ...).

3. Objetivos.

Este proyecto presenta el diseño de un modulador $\Sigma\Delta$ de segundo orden realizado con circuitos de capacidades conmutadas (SC) para la adquisición de señales cardíacas en



marcapasos implantables.

El modulador se ha diseñado en dos versiones diferentes:

- ♦ La primera, de muy bajo consumo, se implementa usando como integradores dos amplificadores operacionales basados en la celda FVF¹ [7]. Estos amplificadores han sido diseñados mediante dos etapas clase AB y han sido denominados como Op-Amps clase AB/AB [5]. Debido a su comportamiento clase AB, estos amplificadores presentan un alto slew-rate con un consumo estático muy reducido. Además, los amplificadores han sido diseñados con transistores polarizados en inversión débil. Esta región de operación es muy conveniente cuando se añaden especificaciones de bajo consumo, baja tensión de alimentación y baja frecuencia, ya que, se consigue maximizar el cociente g_m/I_D minimizando el consumo [8].
- ♦ La segunda versión se ha diseñado a partir de la primera con el objetivo de mantener las prestaciones obtenidas reduciendo la tensión de alimentación a 1.2 V y por tanto el consumo. Los convertidores A/D de baja tensión implementados mediante el uso de circuitos SC tienen un grave problema: la tensión de alimentación no es suficiente para conmutar correctamente los transistores que funcionan como interruptores. Existen diversas técnicas para solucionar este problema como el uso de procesos con múltiples tensiones umbrales o la llamada de amplificadores operacionales conmutados. No obstante, la técnica predominante hoy día es el uso de dobladores de tensión, que son dispositivos que duplican la amplitud de las señales de reloj permitiendo la conmutación de señales de rango completo. En esta segunda versión del modulador se hace uso una alternativa a los dobladores de tensión en la que se usan switches basados en transistores QFG propuestos en [13]. Se ha usado una arquitectura distinta para el Op-Amp, la presentada en [6], con etapa de salida clase AB trabajando a 1.2 V de alimentación. Por los mismos motivos que en la primera versión del modulador, también se han diseñado los amplificadores para que sus transistores trabajen en inversión débil.

Ambas versiones del modulador se han diseñado utilizando tecnología de 0.5- μm CMOS mediante el software CADENCE, el cual es un entorno de automatización del diseño electrónico que permite el diseño y verificación de un circuito integrado (IC) en todas las etapas del flujo de diseño. También se ha hecho uso de MATLAB para el procesamiento de la respuesta del modulador a fin de obtener la forma del espectro y la SNR². Los parámetros de topología del modulador $\Sigma\Delta$ han sido optimizados a nivel de sistema mediante el uso de la herramienta *SimConverter* [9].

Por todo esto, se puede englobar la realización de este proyecto dentro de dos grandes etapas:

- ♦ Estudio del modulador $\Sigma\Delta$ a nivel de sistema utilizando la herramienta *SimConverter*. A través de este estudio y sometiendo la topología de modulador

¹ Flipped Voltage Follower.

² Del Inglés, Signal to Noise Ratio.



seleccionada a las especificaciones impuestas por la aplicación, se han extraído las especificaciones y consideraciones de diseño sobre cada uno de los bloques que componen el sistema.

- ♦ Diseño de los distintos bloques del circuito a nivel de transistor utilizando las herramientas *Composer Schematic Editor* (para la edición de esquemáticos) y *Spectre, Analog Simulation Environment* (para la simulación de estos) de CADENCE. En esta etapa se parte de un esquema de modulador $\Sigma\Delta$ con la topología estudiada mediante *SimConverter*, pero basado en modelos AHDL de los bloques circuitales que componen el sistema. A medida que se va diseñando cada bloque a nivel de transistor, estos van reemplazando a sus modelos AHDL en el esquema general, comprobándose en cada sustitución que se mantiene el comportamiento deseado del sistema.

Quedan fuera de los objetivos del presente proyecto y pendiente de futuras ampliaciones, el diseño del layout del modulador mediante la herramienta *Virtuoso Layout Editor* de CADENCE y el diseño de una placa de medidas para verificar las propiedades del circuito después de su fabricación y obtener medidas experimentales.

Todos los objetivos alcanzados se presentan en los siguientes capítulos de este documento, mostrándose en el siguiente apartado cómo están organizados.

4. Organización de la memoria.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.

Breve repaso de las motivaciones y los objetivos que se han perseguido con la realización de este proyecto. En este capítulo se trata de ofrecer una visión general del proyecto y de los pasos seguidos para su realización.

CAPÍTULO 2: MODULADORES SIGMA-DELTA.

Introducción a los convertidores A/D en general y a los moduladores $\Sigma\Delta$ en particular. Con este capítulo se pretende explicar los principios de funcionamiento de los moduladores $\Sigma\Delta$ y a su vez introducir la terminología que se utilizará en el resto del documento.

CAPÍTULO 3: ESPECIFICACIONES Y CONSIDERACIONES DE DISEÑO.

Se exponen las especificaciones sobre el modulador extraídas de la aplicación para la



que se está diseñando, digitalización de señales cardíacas en un marcapasos implantable. También se extraen, mediante un estudio de sistema sometido a esas especificaciones, las consideraciones de diseño para cada uno de los bloques que componen el modulador.

CAPÍTULO 4: IMPLEMENTACIÓN Y REALIZACIÓN ELECTRÓNICA.

En este capítulo se explica como ha sido la implementación circuital del modulador $\Sigma\Delta$ y el diseño de cada uno de los bloques constructivos a nivel de transistor para las dos versiones del modulador que se han desarrollado.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

Se presentan los resultados obtenidos para ambos moduladores.

CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA.

Recoge todas las referencias bibliográficas en las que se ha apoyado este proyecto.