

## UNA APROXIMACIÓN DIDÁCTICA AL CONVECTOR DE CORRIENTE Y SUS APLICACIONES

S. CELMA, P. A. MARTÍNEZ

*Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones. Área de Electrónica.  
Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza. 50009-Zaragoza. España.*

*En este trabajo proponemos un tema docente donde se exponen algunos conceptos básicos para comprender el funcionamiento y aplicaciones de nuevos circuitos integrados lineales, tales como el convector de corriente y el amplificador operacional realimentado por corriente. La introducción de estos elementos activos se enlaza de manera natural y continua con las configuraciones amplificadoras básicas (etapas de un solo transistor, par diferencial, etc) y su relación con otros elementos activos convencionales (amp op, OTA, etc).*

### 1. Introducción

El amplificador operacional, *amp op*, ha sido desde los años 60s el elemento activo omnipresente en todos los diseños de la electrónica analógica, hasta tal punto que *diseño analógico* y *diseño con amp ops* han llegado a ser términos casi equivalentes.

Sin embargo, durante los últimos años ha sido desarrollada una nueva tecnología para la fabricación de circuitos analógicos de altas prestaciones basada en los modernos procesos bipolares complementarios. La disponibilidad de transistores npn y pnp de características equivalentes permite el diseño de arquitecturas estructural y funcionalmente simétricas, obteniendo dispositivos en clase-AB (alta eficiencia en consumo y buen comportamiento dinámico) de elevada precisión en lazo abierto.

Por ejemplo, utilizando amplificadores de transimpedancia basados en esta técnica, ha sido posible superar las limitaciones del *slew-rate* (más de 2000V/ $\mu$ s) y aumentar la anchura de banda de los *amp ops* convencionales. El componente activo básico de estos nuevos amplificadores es el denominado *convector de corriente*, CCII. Actualmente, los principales fabricantes de circuitos integrados lineales proporcionan versiones de amplificadores que, de una u otra forma, aprovechan las ventajas inherentes de estos nuevos dispositivos. Precisamente, son utilizados en aplicaciones de alta velocidad, donde han demostrado ser superiores a los amplificadores convencionales.

Así pues, creemos que estas nuevas arquitecturas bien pudieran considerarse un nuevo paradigma del diseño electrónico de similar transcendencia al hito que supuso la aparición y desarrollo del *amp op*. Desafortunadamente, por tratarse de dispositivos de reciente aparición comercial, la información está todavía dispersa en infinidad de notas de aplicación y artículos

científico-técnicos, los cuales no suelen ser muy apropiados como recursos didácticos para su utilización en el aula.

Por todo ello, creemos conveniente realizar el esfuerzo de elaborar una adaptación didáctica del tema que permita su incorporación en los descriptores de asignaturas de electrónica analógica en estudios universitarios científico-técnicos. En definitiva, proponemos un tema docente donde se exponen algunos conceptos elementales de estos nuevos elementos activos y sus constituyentes, enlazados de manera natural y continua con las configuraciones amplificadoras básicas (etapas de un solo transistor, par diferencial, etc.) y su relación con otros elementos activos convencionales (*amp op*, OTA, etc.). La experiencia pedagógica e investigadora de los autores sobre esta temática nos ha permitido elaborar un tema docente con especial atención a los aspectos metodológicos.

Por otro lado, es difícil proporcionar una programación y estructuración de los contenidos del tema, ya que éstas dependerán de la asignatura en la que se encuadre. No obstante, a continuación apuntamos un posible esquema que puede servir de referencia:

1. Introducción, motivaciones y objetivos
2. El convector de corriente como transistor ideal
3. Descripción y análisis de arquitecturas
4. Macromodelo funcional y eléctrico
5. Aplicaciones del convector como elemento de circuito
6. Aplicaciones como celda constitutiva

## 2. El convector de corriente

El convector de corriente puede introducirse de forma sencilla e intuitiva como resultado de idealizar el comportamiento del transistor, empleado un modelo unificado de transistor operando en zona amplificadora, válido tanto para transistores bipolares como de efecto de campo.

Para comprender las diversas arquitecturas de CCII comerciales procederemos de manera constructiva. Tomando como referencia el modelo *ac* propuesto, planteamos un primera configuración simplificada del CCII incluyendo los circuitos de polarización: Fuentes de corriente y desplazadores de nivel. De este modo obtenemos directamente las estructuras en clase-A frecuentemente utilizadas. No obstante, para extraer el máximo beneficio de la tecnología complementaria, debemos elegir configuraciones de clase-AB. En este caso, resulta muy sencillo construir la correspondiente arquitectura en clase-AB de cada una de las estructuras de clase-A presentadas: Añadir una configuración complementaria y prescindir de las fuentes de corriente que resulten innecesarias para la correcta polarización de los transistores.

A continuación se analizan las características básicas que presentan sendas estructuras, distinguiendo los siguientes aspectos fundamentales: Comportamiento en continua, respuesta transitoria, comportamiento en *ac* y rango dinámico. Aunque idealmente se trata de estructuras idénticas, un primer análisis nos permitirá establecer algunas diferencias importantes. Además, este estudio nos ayudará a conocer mejor las limitaciones del

dispositivo y proponer posteriormente un macromodelo funcional simplificado similar a los disponibles para otros elementos activos como el *amp op*.

### 3. Aplicaciones como elemento de circuito

La consideración del CCII como un transistor ideal permite sintetizar sistemas lineales a partir de los esquemas *ac* descritos con transistores: Basta reemplazar cada transistor por un CCII. De esta forma, todos los amplificadores monoetapa tienen contrapartida directa con un CCII, manteniendo sus propiedades básicas e incluso con elección del signo de la ganancia de la etapa. Insistimos en el hecho de que los esquemas de partida no son los circuitos completos, sino los esquemas *ac*. Es decir, el CCII es un circuito integrado autopolarizado y por lo tanto no es necesario añadir la circuitería de polarización requerida en los esquemas con transistor.

De forma similar podemos proceder con la transformación de amplificadores con varios transistores (etapa *cascode*, par diferencial, amplificador de instrumentación, etc.) y otras estructuras clásicas como osciladores y multivibradores.

### 4. Aplicaciones como celda constitutiva

Desde un punto de vista formativo, es interesante identificar y describir algunos elementos activos más complejos que utilizan el convector de corriente como celda principal de sus arquitecturas.

Centrando nuestra atención en configuraciones de dispositivos aceptados y distribuidos comercialmente, podemos distinguir cuatro tipos básicos: Amplificador de transimpedancia, CCII compuesto, amplificador realimentado por corriente y amplificador realimentado por tensión. El orden elegido en la descripción de estos elementos no es arbitrario: Obedece a un criterio constructivo que nos ayudará en la comprensión de sus características esenciales.

La primera es una estructura en lazo abierto, mientras que las demás son configuraciones en lazo cerrado. Al igual que el transistor, el convector de corriente es, en esencia, un amplificador transconductor. Esta configuración puede emplearse en lazo abierto para conseguir etapas inversora y no inversora. Dependiendo del tipo de impedancias externas empleadas, podremos obtener diversas funciones de transferencia.

Con el CCII compuesto se pretende optimizar las características del convector simple mediante el empleo de realimentación negativa. Básicamente se trata del amplificador de transimpedancia analizado anteriormente operando en lazo cerrado y con una salida adicional en corriente. Para su análisis resulta muy instructivo el empleo del macromodelo derivado anteriormente.

Las dos últimas configuraciones presentan una funcionalidad semejante a la del amplificador operacional, lo que amplía las posibilidades de utilización de estos nuevos dispositivos. Un sencillo análisis del amplificador realimentado por corriente revela que desaparece el compromiso ganancia - ancho de banda impuesto en las etapas amplificadoras basadas en el *amp op*. También resulta fácil demostrar que debido a la utilización de arquitecturas en clase-

AB no tendremos limitación por *slew-rate*. Sin embargo, en general, debido a los errores en continua, la limitación de la ganancia y sus correspondientes derivas térmicas, es difícil conseguir estructuras con precisiones superiores a 10 bits (0.1%), cuando se precisan 14 bits o más en los actuales sistemas de instrumentación de elevadas prestaciones.

Una estrategia seguida para superar este inconveniente es la siguiente: Como la causa de los principales errores está en la etapa de entrada, y el *amp op* resuelve eficazmente este problema, emulemos su etapa de entrada con convectoros. De esta manera, recuperamos el concepto clásico de amplificador operacional, pero con un comportamiento dinámico excelente gracias a la etapa de entrada en clase-AB.

## 5. Conclusiones

A modo de conclusión, finalizaremos enumerando los objetivos formativos que nos planteamos en este tema y que pueden resumirse en los siguientes:

1. Entender el convector de corriente como consecuencia de la optimización del comportamiento del dispositivo activo electrónico más sencillo: El transistor.
2. Describir y analizar posibles arquitecturas internas.
3. Caracterizar estos dispositivos y modelar su comportamiento mediante macromodelos funcionales simples.
4. Valorar las aplicaciones del nuevo dispositivo como alternativa al transistor en el diseño de estructuras transistorizadas tradicionales: amplificadores monoetapa y amplificadores multietapa simples.
5. Comprender su utilización como celda básica de elementos activos de elevadas prestaciones, estableciendo el dominio de interés de los mismos en comparación con otros más tradicionales: *amp op*, OTA, CDA...
6. Aceptar estos nuevos circuitos lineales como una alternativa válida y preferente en el diseño de algunos sistemas analógicos.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por CICYT (TIC99-0977) y DGA-FEDER (P019/99T).

## Referencias

- [1] C. Toumazou, F. J. Lidgley, D. G. Haigh, (eds.), *Analogue IC Design: The Current-Mode Approach*. Peter Peregrinus Ltd., 1990.
- [2] P. A. Martínez, S. Celma, Convectoros de intensidad: una alternativa para el diseño de circuitos integrados analógicos. *Actas del VIII Congreso de Diseño de Circuitos Integrados*, 61-65, Málaga, Nov. 1993.
- [3] S. Celma, P. A. Martínez, A comprehensive simulation macromodel for CCII. *Proceedings of the SCS European Simulation Multiconference*, 1-4, Barcelona, June 1994.