

Sin compromisos de ruido: Las aplicaciones emergentes conducen los avances en los amplificadores

Por Jamie Furness

Jamie Furness es
Director de Desarrollo
Tecnológico Global de
Farnell



Las exigencias actuales sobre el funcionamiento de los sistemas en una gama variada de aplicaciones requieren a un número cada vez mayor de ingenieros, la capacidad de elegir y diseñar con amplificadores de bajo ruido en los que se incluyen amplificadores operacionales, preamplificadores de audio y amplificadores de instrumentación. Comprender los parámetros clave que ayudan a los diseñadores de circuitos integrados (CI) a mejorar el rendimiento del ruido podría ayudar a los ingenieros a obtener soluciones eficaces.

Exigencias de un público cada vez más numeroso

Diseñar con amplificadores de bajo ruido ha sido principalmente dominio exclusivo de la fraternidad de las microondas y de la RF. Pero muchos tipos de equipos electrónicos de uso habitual requieren ahora gestionar señales de amplitud ultra-baja, a altas resoluciones y con niveles bajos de distorsión. Ejemplos de ello son los equipos profesionales de audio, los instrumentos de monitorización ambiental, los controles industriales y los sistemas de formación de imágenes médicas; y los diseñadores deben comprender con rapidez cómo obtener un funcionamiento de bajo ruido. La selección correcta del dispositivo es crítica si el sistema resultante tiene que satisfacer sus objetivos de funcionamiento.

Cuando se evalúa un circuito integrado de un amplificador para una aplicación de bajo ruido, los dos factores más importantes a considerar son el ruido de tensión y el ruido de corriente. Estos aspectos "no ideales" del comportamiento de un amplificador operacional se pueden modelar como fuente de ruido de tensión en serie con un terminal de entrada de un amplificador operacional ideal que no produzca ruido, y dos fuentes de ruido de corriente entre cada terminal

de entrada y común. Se puede considerar normalmente que estas fuentes son independientes entre sí.

Cuando se describe el ruido de la corriente y el ruido de la tensión en la hoja de datos de un amplificador operacional, las cifras indicadas están normalmente referenciadas a la entrada del dispositivo, para eliminar cualquier dependencia de la ganancia.

En el esquema de la figura 1, el ruido instantáneo combinado en la salida del amplificador se puede considerar como la suma de los efectos de dos tipos de ruido:

$$e_o = (1 + R_2/R_1) \times e_n + R_2 \times \text{ruido de la corriente de E/S}$$

Donde:

e_o = ruido instantáneo combinado de salida

e_n = ruido de tensión

i_n = ruido de corriente

De esta ecuación, se puede calcular la contribución relativa de cada tipo de ruido como:

$$e_n/i_n = R_2 / (1 + R_2/R_1)$$

Por consiguiente, la fuente de ruido dominante puede variar según la impedancia de entrada del circuito. El ruido de tensión domina en los circuitos de impedancia de generador baja, mientras que el ruido de corriente se hace cada vez más importante en los valores más altos de impedancia del generador. Esto tiene una influencia importante sobre la selección del amplificador. En las aplicaciones en que la impedancia del generador es baja, los diseñadores

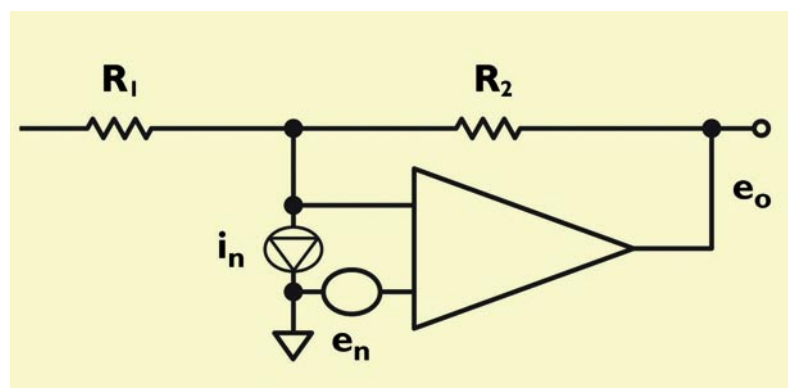
deberán seleccionar un amplificador operacional que ofrezca un ruido de tensión bajo. Para aquellas aplicaciones con generadores de impedancia alta, es preferible un amplificador con bajo ruido de corriente de entrada. La relación entre e_n y i_n (utilizando los valores RMS) se conoce como la Resistencia Característica del Ruido, que puede ser una cifra digna de considerar para evaluar la capacidad funcional de un amplificador en relación con la impedancia de cualquier generador previsto.

También es de gran valor tener en cuenta que tanto el ruido de tensión como el ruido de corriente varían sobre la anchura de banda de un amplificador operacional. Los diseñadores necesitan por lo tanto prever el valor de cada uno a la frecuencia prevista de funcionamiento para confirmar que el dispositivo elegido funcione según lo previsto en la aplicación final. Se puede obtener la información adecuada de la hoja de datos, o bien, hallarla por experimentación.

Criterios fundamentales de selección del dispositivo

Los amplificadores de bajo ruido actualmente disponibles están fabricados con la tecnología bipolar, de JFET o del proceso CMOS. En la tecnología bipolar, el ruido de la tensión es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la corriente del colector

Figura 1 Fuentes de ruido debido a la tensión y a la corriente en una red de amplificador.



de la etapa de entrada. Los diseñadores del chip, pueden por lo tanto obtener un rendimiento de ruido de tensión bajo aumentando este valor de la corriente. Consecuentemente, cuando se comparan los amplificadores de tecnología bipolar con los de las tecnologías JFET o CMOS, los de tecnología bipolar tienden a producir la densidad más baja de ruido de tensión. Para los amplificadores operacionales bipolares de bajo ruido, esta densidad puede ser normalmente de alrededor de $1\text{-}2\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$. Sin embargo, el ruido de la corriente es directamente proporcional a la raíz cuadrada de la corriente del colector y, consecuentemente, es relativamente alto cuando el ruido de la tensión es bajo. De aquí que la realimentación externa y la resistencia del generador deban mantenerse bajas para garantizar un buen rendimiento del ruido. Las aplicaciones más adecuadas para los amplificadores bipolares, por lo tanto, son aquellas que tienen una impedancia de entrada baja, normalmente inferior a $200\ \Omega$.

Inversamente, los amplificadores con etapas de entrada JFET muestran una densidad de ruido de corriente sumamente baja, normalmente de menos de $1\text{ fA}/\sqrt{\text{Hz}}$. Esto resulta en una corriente de polarización muy baja, lo cual hace que estos dispositivos sean adecuados para aplicaciones con impedancia del generador muy alta. Por otro lado, la densidad del ruido de la tensión tiende a ser de un orden de magnitud más alta que la del dispositivo bipolar, lo que impone una reducción del rendimiento en aplicaciones con impedancia del generador muy baja. Los amplificadores JFET pueden además operar de una alimentación simple, lo cual puede facilitar el diseño del suministro de energía.

Los amplificadores CMOS ofrecen buen rendimiento general contra el ruido, comparable con el rendimiento del ruido de tensión de los dispositivos bipolares, y asimismo con el rendimiento del ruido de corriente de los dispositivos de entrada JFET. Otros beneficios incluyen la baja distorsión y su operación de una alimentación simple, lo cual les hace adecuados para aplicaciones tan diversas como la amplificación de señales de sensores o de preamplificadores de audio.

Mejoras en los niveles de ruido

Pero el orden establecido está cambiando; las exigencias cada vez mayores de un funcionamiento de bajo ruido en el diseño de los aparatos electrónicos de uso general está forzando la aparición de nuevas generaciones de circuitos integrados para amplificadores de bajo ruido que ofrecen mejor rendimiento general. Históricamente, la creación de un amplificador de bajo ruido hacía necesario que los diseñadores de circuitos integrados intercambiaran otros aspectos del funcionamiento como la velocidad, la corriente de polarización de entrada y el consumo de la energía. El tamaño del dado y de la cápsula de los dispositivos de bajo ruido tienden también a ser mayores que los de los amplificadores de uso general. En las aplicaciones de bajo ruido tradicionales, como en las comunicaciones por satélite, radar o GSM inalámbrico, tales inconveniencias han sido secundarias a la importancia de obtener el rendimiento de ruido requerido. Sin embargo, con las realidades comerciales modernas frecuentes en las últimas generaciones de aplicaciones de bajo ruido, surgen requisitos necesarios de bajo ruido de tensión y de bajo ruido de corriente, además de baja energía, precio económico y pequeño tamaño.

Otras exigencias importantes que afectan a los sistemas modernos incluyen el soporte de la oscilación de la tensión de entrada o salida de un carril a otro, para potenciar al máximo el rango dinámico de la señal ya que los amplificadores deben operar a partir de unas tensiones de alimentación del sistema progresivamente inferiores. Otros requisitos incluyen el rechazo de la alimentación de alta potencia, por ejemplo en los productos diseñados para operar a partir de una tensión de batería no regulada. Estos deben también operar sobre la gama total de tensión útil de la batería, ya que la tensión de alimentación decae progresivamente del nivel totalmente cargado. Satisfacer todos estos requisitos en un solo amplificador es un reto.

Las innovaciones del proceso en las tecnologías bipolar, JFET y CMOS han posibilitado nuevas familias de dispositivos que muestran propiedades muy optimizadas. Un ejemplo:

los amplificadores bipolares líderes están adoptando una nueva tecnología de aislamiento por zanja en lugar de la estructura tradicional de capa de difusión para obtener una densidad de transistor mayor por dado. Esta tecnología ofrece mayor velocidad, adaptación, linealidad y estabilidad, además de reducir el ruido producido por la tensión y la corriente. Los beneficios incluyen menor consumo de energía, operar sobre una gama extendida de temperaturas sin que se requieran disipadores térmicos, y que los encapsulados sean más pequeños, con lo cual se pueden obtener densidades mayores en los diseños de canal múltiple.

Los avances en la tecnología de fabricación JFET incluyen la construcción de transistores multipuerta para el rendimiento óptimo por área de transistor, lo cual ha permitido reducir el ruido de la tensión manteniendo simultáneamente un ruido de corriente ultra bajo. Con un ruido de tensión en el rango de $4\text{-}6\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ y un ruido de corriente de menos de $1\text{ fA}/\sqrt{\text{Hz}}$, los dispositivos de la última generación han obtenido un ruido total bajo sobre una amplia gama de impedancia de transductor. Presentan una solución especialmente robusta cuando se tratan de amplificar señales de bajo nivel procedentes de generadores de impedancia alta, especialmente de transductores capacitivos, como los hidrófonos, los acelerómetros de precisión o los fotodiodos.

El desarrollo del amplificador CMOS se está también enfocando en los avances en el nivel de silicio para eliminar los compromisos entre aspectos tales como baja derivación y bajo ruido, que también han sido difíciles de combinar en un sólo dispositivo. Otros avances de procesos incluyen el silicio con aislador (SOI) BiCMOS, que ofrece una precisión mejorada de CC, un bajo consumo de la energía y bajo ruido de tensión. Diseñados para tensiones de alimentación de $0,9\text{V-}12\text{V}$, que incluye la optimización para una operación de $3,3\text{V-}5\text{V}$, permiten la interconexión directa al convertidor A/D además de la compatibilidad con la química de la batería, como las de ión de Li, haciendo que sean muy adecuados para utilizar en los dispositivos portátiles.