

# Los amplificadores de transimpedancia para fotodiodos de amplio rango presentan exigentes requisitos

Artículo cedido por Arrow Electronics



www.arrow.com



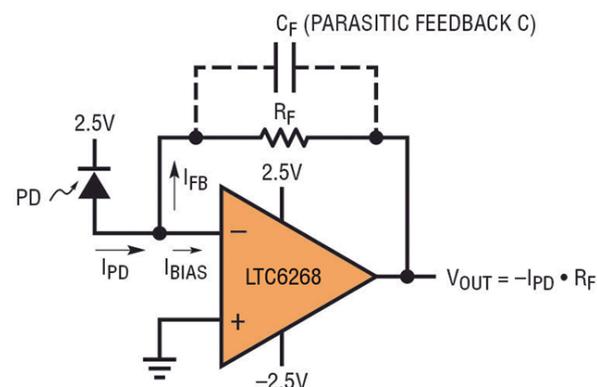
www.linear.com

Autores: Brian Black, Jefe de Marketing de Producto y Glen Brisebois, Ingeniero Jefe de Aplicaciones, Linear Technology

Los fotodiodos se utilizan en una gran variedad de aplicaciones para transformar la luz en una corriente o tensión que a continuación se puede utilizar en circuitos electrónicos. Éstos van desde células solares hasta redes ópticas de datos, desde instrumentos de precisión y cromatografía hasta sistemas de diagnóstico por imagen en medicina. Todas estas aplicaciones comparten la necesidad de circuitería para almacenar y dimensionar la salida del fotodiodo. Para aplicaciones que exijan alta velocidad y un elevado rango dinámico se usan a menudo circuitos de amplificador de transimpedancia como el mostrado en la Figura 1. En esta figura, la capacidad de realimentación se indica como una capacidad parásita. En muchas aplicaciones se trata de un condensador colocado de forma deliberada para asegurar la estabilidad.

Este circuito tiene el fotodiodo en "modo fotoconductor" con una tensión de polarización aplicada al cátodo. La conexión virtual entre las dos entradas del amplificador operacional mantiene el ánodo conectado a masa, aplicando de este modo una tensión constante de polarización inversa a través del fotodiodo. Se puede considerar que el fotodiodo es una fuente de corriente (proporcional a la intensidad de la luz), un condensador, una gran resistencia y la denomi-

Figura 1. Amplificador de transimpedancia.



nada corriente oscura, todo ello conectado en paralelo. Cuanto mayor es la tensión de polarización en el diodo, más pequeña tiende a ser la capacidad del fotodiodo. Si bien esto es bueno para la velocidad, se ve limitado en la práctica por la capacidad de un fotodiodo de resistir elevadas tensiones inversas.

La corriente generada por el fotodiodo (IPD) se amplifica en el amplificador de transimpedancia y se convierte en una tensión de salida mediante la resistencia de ganancia de transimpedancia (también denominado resistencia de realimentación o RF). Idealmente toda esta corriente circula a través de RF (por tanto,  $IFB = IPD$ ), pero en la práctica el amplificador "roba" parte de esta corriente en forma de corriente de polarización de entrada del amplificador operacional. Esta corriente de polarización da como resultado una tensión de error a la salida y limita el rango dinámico. Cuanto mayor es la resistencia de ganancia, mayor es su efecto. Es importante seleccionar un amplificador con una corriente de polarización suficientemente baja (al igual que la tensión de offset de entrada y la deriva de tensión del offset de entrada) para lograr el rango dinámico y la precisión total que se requieren.

Otro aspecto a tener en cuenta es el efecto que tiene la variación de la corriente de entrada del amplificador operacional sobre la temperatura. Los amplificadores operacionales con etapas de entrada bipolares presentan una corriente de entrada bastante constante. Pero esta corriente es tan elevada incluso a temperatura ambiente (nA o incluso  $\mu A$ ) que los amplificadores bipolares sin buffer no resultan apropiados para muchas aplicaciones de ganancia de alta transimpedancia. Por esta razón, los amplificadores operacionales con una etapa de entrada FET son preferibles respecto a los amplifica-

dores bipolares ya que su corriente de entrada es inherentemente más baja, a menudo del orden de unos pocos picoamperios o incluso más baja a temperatura ambiente. Pero los diodos de protección frente a descarga electrostática sufren fugas cuando se calientan, provocando un aumento exponencial de la corriente de entrada con la temperatura. No es extraño que un amplificador operacional con una corriente de polarización del orden de pA a temperatura ambiente tenga una corriente de entrada de nA a 125°C. Más adelante se describe un amplificador operacional que soluciona este problema mediante autoelevación (bootstrapping) de los diodos de protección para descarga electrostática. Otra alternativa consiste en usar un FET discreto como buffer del fotodiodo a la entrada del amplificador, pero esto exige un componente añadido y el espacio correspondiente en la placa y su capacidad de entrada es relativamente elevada.

Dado que el rango dinámico es la relación entre la señal máxima de entrada y el ruido, también es importante seleccionar un amplificador operacional con un ruido suficientemente bajo. Son importantes tanto el ruido de corriente como el ruido de tensión del amplificador operacional, en diverso grado dependiendo del valor de RF y CIN. La capacidad de entrada, CIN (ver Figura 2) es una combinación de la capacidad del fotodiodo, la capacidad de entrada del amplificador y las capacidades parásitas de la placa. En los circuitos del amplificador de transimpedancia, el ruido de corriente se multiplica por RF, provocando así la aparición de ruido como un error de tensión de salida. El ruido de tensión del amplificador también se multiplica por la ganancia de ruido. Así que para valores más altos de RF, el ruido de corriente (in) se hace más dominante y para circuitos con

una alta  $C_{IN}$ , domina el ruido de tensión (en). Puede resultar complicado encontrar un amplificador operacional con bajo ruido de corriente y bajo ruido de tensión.

La capacidad de entrada también limita el ancho de banda. Una manera de plantear esto es considerar la impedancia del condensador de entrada como la resistencia de ganancia ( $R_G$ ) en una configuración convencional de amplificador operacional inversor. Cuanto mayor es el condensador, más pequeña es la impedancia y mayor es la ganancia efectiva que "ve" el amplificador operacional ( $1 + R_F/R_G$ ), a menudo llamada ganancia de ruido. Dado que el ancho de banda del amplificador es inversamente proporcional a la ganancia debido a la naturaleza constante del producto ganancia-ancho de banda, lo cual significa que una capacidad de entrada elevada limita el ancho de banda del circuito. Esto también se puede plantear desde el punto de vista de la estabilidad. La capacidad a la entrada de un amplificador operacional puede crear un polo en el dominio de la frecuencia o un retardo en el dominio del tiempo. Este polo se puede compensar para obtener un circuito estable añadiendo un condensador de realimentación ( $C_F$ ) de forma deliberada, y no como un parásito. Cuanto mayor es esta capacidad, más limitado está el ancho de banda del circuito. Por tanto es importante escoger un amplificador con una baja capacidad de entrada y diseñar el esquema de la placa con cuidado para evitar la capacidad parásita de entrada y la capacidad de realimentación. Consulte las páginas 14 y 15 de la ficha técnica del LTC6268 para ver algunas ideas prácticas que reducen la capacidad de realimentación parásita y que en la práctica mejoran en cuatro veces el ancho de banda del circuito.

El nuevo amplificador operacional LTC6268 con una corriente de polarización de femptoamperios es un buen ejemplo de un amplificador optimizado para las prestaciones que exigen los circuitos de fotodiodo de alta velocidad y alto rango dinámico descritos en este artículo. Logra una corriente de entrada extremadamente baja me-

diante autoelevación de los diodos de protección frente a descarga electrostática integrados. Al crear una réplica con buffer de la tensión de entrada, y alimentando con ella los diodos divididos para descarga electrostática, se consigue mantener en niveles extremadamente bajos la tensión y la corriente del diodo durante el funcionamiento normal. El resultado es una corriente máxima de entrada garantizada de 0,9pA a 85°C y 4pA a 125°C. Los valores típicos obtenidos para la corriente de entrada se indican en la Figura 3. Si bien esta corriente sigue aumentando con la temperatura, es varios órdenes de magnitud más baja que en otros amplificadores.

El LTC6268 ofrece 500MHz de ganancia por ancho de banda, permitiendo así los circuitos de una sola etapa mostrados en la ficha técnica del LTC6268 desde una ganancia de transimpedancia de 20k $\Omega$  con un ancho de banda de 65MHz hasta una ganancia de transimpedancia de 499k $\Omega$  con un ancho de banda de 11,2MHz. Con una capacidad de entrada de solo 0,45pF, el LTC6268 solo aporta una pequeña parte de la capacidad total del circuito, conservando al mismo tiempo un elevado ancho de banda. La tensión de entrada y el ruido de corriente indicados para el LTC6268 son de 4,3nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$  a 1MHz y 5,5fA/ $\sqrt{\text{Hz}}$  a 100kHz, respectivamente. Además, gracias a su gran ancho de banda, baja distorsión y elevada pendiente de salida (slew rate), el LTC6268 resulta apropiado para aplicaciones de digitalización a alta velocidad.

Aunque existen centenares, si no miles, de amplificadores operacionales disponibles en el mercado, encontrar un amplificador de transimpedancia adecuado para circuitos de fotodiodos de alta velocidad y alto rango dinámico puede resultar realmente complicado. Cada uno necesita su propio conjunto de prestaciones características, incluyendo una corriente de polarización de entrada y una deriva de temperatura de la corriente de entrada extremadamente bajas, alta velocidad (es decir, producto ganancia por ancho de banda y pendiente de salida), el equilibrio

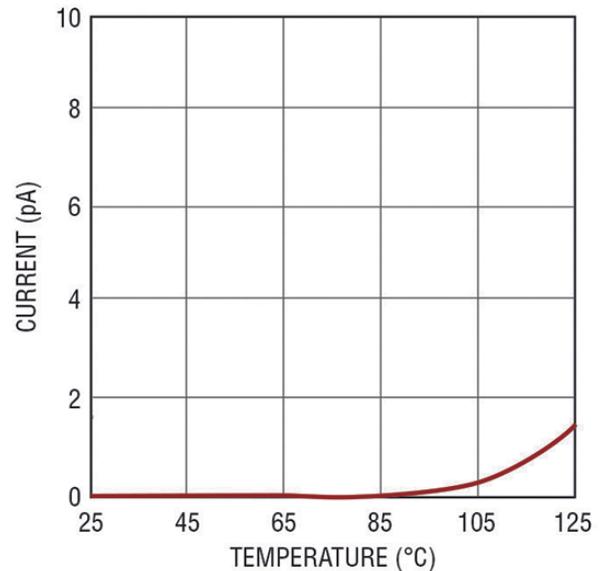


Figura 2. La capacidad de entrada incluye la capacidad del sensor, la placa y el amplificador.

correcto de baja tensión y ruido de corriente, y baja capacidad de entrada. Hay que prestar especial atención al esquema de la placa para minimizar las corrientes de fuga y las capacidades parásitas, que limitarían la precisión y la velocidad del circuito. El LTC6268 representa una nueva clase de amplificador operacional optimizado para aplicaciones de altas prestaciones del amplificador de transimpedancia.

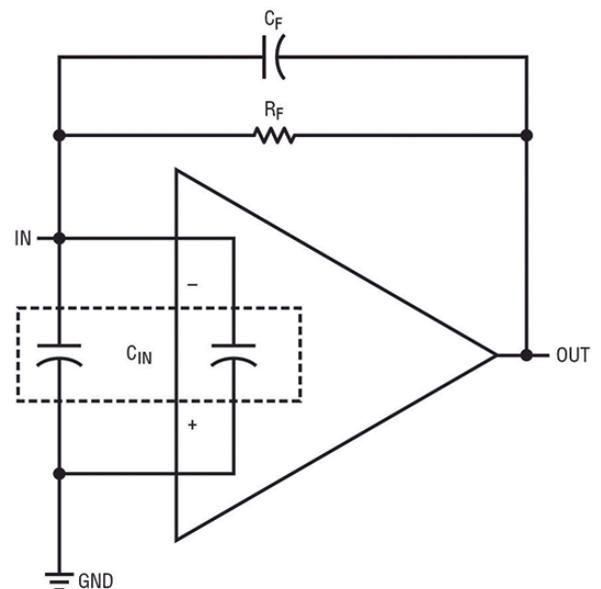


Figura 3. La corriente de polarización de entrada del LTC6268 permanece baja a lo largo de la temperatura.